

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de INGENIERO MECÁNICO

TEMA:
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HASTA 1000 WATTS CON EL
EMPLEO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAR EN UNA
VIVIENDA DEL CANTÓN LAGO AGRIO

AUTOR:
CRISTIAN ROLANDO MERA CUEVA

TUTOR:
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA

Quito, diciembre del 2016

Cesión de derecho de autor

Yo Cristian Rolando Mera Cueva, con documento de identificación N° 2100318704, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación titulado: "Generación de energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una vivienda del Cantón Lago Agrio " mismo que ha sido desarrollado para optar por el Título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Cristian Rolando Mera Cueva

CI. 2100318704

Quito, diciembre del 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación "Generación de energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una vivienda del Cantón Lago Agrio" realizado por Cristian Rolando Mera Cueva, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.



.....

Milton Salomón Jami Lema

CI: 170725417-1

Quito, diciembre del 2016

Dedicatoria

A mis padres por ser mi pilar de apoyo, mi inspiración para lograr culminar este ciclo universitario, a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional y a todas las personas que estuvieron junto a mí en este periodo de preparación profesional.

CRISTIAN MERA C.

Índice

| | |
|---|----|
| Abstract | 13 |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Planteamiento de objetivos | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 2 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 2 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 2 |
| CAPÍTULO II | 3 |
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 Energía hidráulica | 3 |
| 2.2 Centrales hidroeléctricas..... | 3 |
| 2.2.1 Definición de centrales hidroeléctricas..... | 3 |
| 2.2.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas pequeñas | 3 |
| 2.3 Rueda Hidráulica | 4 |
| 2.4 Clasificación de las ruedas hidráulicas | 5 |
| 2.4.1 Ruedas alimentación inferior (undershot)..... | 5 |
| 2.4.2 Rueda alimentación intermedia (Breastshot) | 6 |
| 2.4.3 Ruedas alimentación superior (Overshot)..... | 7 |
| 2.5 Medición caudal..... | 7 |
| 2.5.1 Método volumétrico..... | 8 |
| 2.5.2 Método velocidad-área | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.6 Materiales utilizados | 9 |
| 2.6.1 Chumaceras..... | 9 |
| 2.6.2 Multiplicador de velocidad | 10 |
| 2.6.2.1 Transmisión por cadena | 11 |
| 2.6.2.2.1 Catalina y piñón | 12 |
| 2.6.2.2.2 Cadenas..... | 12 |
| 2.6.3 Generador..... | 13 |
| 2.6.4 Aluminio ASTM A1200 | 13 |
| 2.6.4.1 Descripción | 14 |
| 2.6.4.2 Propiedades mecánicas | 14 |
| 2.6.4.3 Propiedades Físicas..... | 14 |
| 2.6.4.4 Composición química | 14 |
| 2.6.4.5 Usos | 15 |
| 2.6.4.6 Tratamientos térmicos..... | 15 |
| 2.6.5 Soldadura MIG | 15 |
| 2.6.5.1 Descripción del proceso..... | 15 |
| CAPÍTULO III..... | 17 |
| ESTUDIO DE ALTERNATIVAS | 17 |
| 3.1 Criterios para selección de sistema de rueda hidráulica | 17 |
| 3.2 Rueda hidráulica acoplada a generador eléctrico | 17 |
| 3.3 Análisis de alternativas | 19 |
| 3.3.1 Alternativa 1 | 19 |

| | |
|---|----|
| 3.3.1.1 Rueda Hidráulica de alimentación superior-overshot..... | 19 |
| 3.3.1.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación superior..... | 20 |
| 3.3.2 Alternativa 2 | 21 |
| 3.3.2.1 Rueda Hidráulica de alimentación intermedia-breastshot | 21 |
| 3.3.2.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica alimentación intermedia | 22 |
| 3.3.3 Alternativa 3 | 22 |
| 3.3.3.1 Rueda Hidráulica de alimentación inferior-undershot..... | 22 |
| 3.3.3.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica alimentación inferior | 24 |
| 3.4 Selección del sistema de rueda hidráulica | 24 |
| CAPÍTULO IV | 26 |
| DISEÑO RUEDA HIDRÁULICA..... | 26 |
| 4.1 Diseño hidráulico de rueda | 26 |
| 4.1.1 Caudal a la salida de represa..... | 26 |
| 4.1.2 Velocidad del agua a la salida de represa | 27 |
| 4.1.2.1 Velocidad media del fluido en la tubería | 28 |
| 4.1.2.2 Velocidad del chorro a la salida de la tobera | 29 |
| 4.1.2.3 Diámetro salida de tobera | 30 |
| 4.1.3 Geometría rueda hidráulica..... | 31 |
| 4.1.3.1 Diámetro de rueda hidráulica..... | 31 |
| 4.1.3.2 Numero de álabes..... | 31 |
| 4.1.3.3 Dimensión de álabes | 32 |
| 4.1.4 Parámetros a obtener por impacto de agua en el álabe | 33 |

| | |
|---|----|
| 4.1.4.1 Velocidad tangencial de la rueda | 33 |
| 4.1.4.2 Velocidad angular de la rueda | 33 |
| 4.1.4.3 Eficiencia de rueda hidráulica..... | 34 |
| 4.1.4.4 Fuerza hidráulica contra un álabe | 34 |
| 4.1.4.5 Potencia de rueda hidráulica | 35 |
| 4.1.4.6 Torque de rueda hidráulica | 35 |
| 4.2 Diseño mecánico rueda hidráulica..... | 36 |
| 4.2.1 Diseño eje de rueda..... | 36 |
| 4.2.1.1 Material eje de rueda..... | 36 |
| 4.2.1.2 Peso rueda | 38 |
| 4.2.1.3 Diámetro eje de rueda | 40 |
| 4.2.2 Selección de chumaceras. | 42 |
| 4.2.3 Multiplicadora de velocidad | 44 |
| 4.2.3.1 Número de revoluciones alternador sincrónico | 44 |
| 4.2.3.2 Relación de transmisión..... | 45 |
| 4.2.3.3 Selección de catalina y cadena para multiplicadora de velocidad | 46 |
| 4.2.3.4 Fuerza de tracción en la cadena | 47 |
| 4.2.3.5 Longitud cadena..... | 48 |
| 4.3 Resumen de partes de hidrogenerador y materiales seleccionados | 51 |
| CAPÍTULO V | 53 |
| ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO | 53 |
| 5.1 Análisis económico..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 5.1.1 Costos directos | 53 |
| 5.1.1.1 Costos de materia prima limpieza de zanja. | 53 |
| 5.1.1.2 Costos de materia prima obra civil. | 54 |
| 5.1.1.3 Costos de materia prima tubería descarga | 54 |
| 5.1.1.4 Costos de materia prima Construcción Rueda Hidráulica | 55 |
| 5.1.1.5 Costos de materia prima instalación eléctrica..... | 55 |
| 5.1.1.6 Costos de mano de obra..... | 56 |
| 5.1.2 Costos indirectos..... | 57 |
| 5.1.3 Resumen de costos..... | 57 |
| 5.2 Análisis Costo-Beneficio | 57 |
| Conclusiones | 60 |
| Recomendaciones..... | 61 |
| Referencias..... | 62 |
| Anexos..... | 65 |

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| 1. Rueda hidráulica..... | 4 |
| 2. Rueda alimentación inferior (undershot) | 6 |
| 3. Rueda alimentación intermedia (Breastshot) | 6 |
| 4. Rueda de alimentación superior (Overshot)..... | 7 |
| 5. Método volumétrico..... | 8 |
| 6. Método velocidad-área..... | 9 |

| | |
|--|----|
| 7. Chumaceras | 10 |
| 8. Multiplicador de velocidad | 11 |
| 9. Transmisión por cadena | 12 |
| 10. Esquema de Funcionamiento de generador eléctrico | 13 |
| 11. Rueda hidráulica acoplada a generador eléctrico | 18 |
| 12. Gráfico de eficiencia- caudal; eficiencia-revoluciones rueda admisión superior | 19 |
| 13. Rueda hidráulica alimentación superior | 20 |
| 14. Rueda hidráulica alimentación intermedia | 21 |
| 15. Rueda hidráulica alimentación inferior acoplada a generador eléctrico | 23 |
| 16. Medición de caudal | 26 |
| 17. Coeficiente de pérdida de energía a la entrada de tubería | 28 |
| 18. Dimensión de álabe | 32 |
| 19. Peso Lamina lateral rueda | 38 |
| 20. Peso Manzana de rueda | 39 |
| 21. Resistencias a la fatiga representativas | 39 |
| 22. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del eje de rueda ... | 41 |
| 23. Representación de multiplicadora de velocidad | 44 |
| 24. Dimensiones métricas cadena 428 | 46 |
| 25. Rueda hidráulica – Hidrogenerador | 52 |
| 26. Calculo de VAN | 59 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación de centrales hidroeléctrica pequeñas | 3 |
| Tabla 2. Propiedades mecánicas aluminio liso ASTM A1200 H14 | 14 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3. Propiedades físicas aluminio liso ASTM A1200 H14. | 14 |
| Tabla 4. Composición química aluminio liso ASTM A1200 H14. | 14 |
| Tabla 5. Parámetros caracterizan a proceso MIG-MAG..... | 16 |
| Tabla 6. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación superior..... | 20 |
| Tabla 7. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación intermedia..... | 22 |
| Tabla 8. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación inferior..... | 24 |
| Tabla 9. Matriz de selección del sistema de rueda hidráulica..... | 25 |
| Tabla 10. Resultados de ensayos a tensión de algunos metales..... | 37 |
| Tabla 11. Dimensiones cadena de rodillos..... | 48 |
| Tabla 12. Partes de hidrogenerador y materiales seleccionados..... | 51 |

Índice de anexos

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Fotos limpieza de maleza. | 65 |
| Anexo 2. Fotos construcción muro y desarenador..... | 66 |
| Anexo 3 Fotos construcción rueda hidráulica..... | 68 |
| Anexo 4. Hidrogenerador en lugar de trabajo..... | 70 |
| Anexo 5. Manual de operación y mantenimiento de hidrogenerador..... | 71 |
| Anexo 6. Nomenclatura..... | 74 |
| Anexo 7. Planos constructivos – Ver carpeta adjunta..... | 77 |

Resumen

El presente proyecto de grado, titulado “Generación de energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una vivienda del cantón Lago Agrio” consiste en la construcción de un sistema hidráulico para generar energía eléctrica, a partir de un impulsor mecánico tipo rueda hidráulica, con capacidad de 1000 watts, en propiedad del Ing. Víctor Gribaldo Cueva Cevallos ubicada en la ciudad de Lago Agrio – Sucumbíos.

Este sistema integrado por represa, rueda hidráulica, tubería y generador, permite aprovechar la energía hidráulica producida por un nivel constante de agua represada, la cual fluye en una tubería que reduce su diámetro mediante una boquilla, provocando la liberación del agua a gran velocidad que al chocar con las paletas de la rueda hidráulica permite el giro permanente de esta, que a su vez es acoplada mediante su eje a un generador y de esta manera se transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Los parámetros empleados en el diseño son: Caudal (6,25 l/s), revoluciones por minuto en rueda hidráulica (42 rpm); multiplicador velocidad- relación (1:23); potencia eléctrica a generar (1000 watts), para sustituir motor generador de 950 watts.

La metodología para el desarrollo del presente proyecto fue la experimental, la cual consiste en un proceso sistemático y en una aproximación científica a la investigación, donde el investigador manipula una o más variables, controla y mide cualquier cambio en otras variables. Y la metodología científica, que consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, formulación, análisis y modificación de las hipótesis planteadas inicialmente.

Palabras claves: generación, energía, eléctrica, sistema, hidráulico, vivienda.

Abstract

The Project entitled grade “Power generation up to 1000 watts with employment of a hydraulic system for use in a house in the canton Lago Agrio” consists in to construction of a hydraulic system for generating electrical energy, since of a mechanic impulsor type hydraulics Wheel, with capacity of 1000 watts, in property of Cueva Cevallos Víctor Gribaldo located in Lago Agrio city – Sucumbíos.

This integrated system for dam, hydraulic wheel, tubing and generator, allows harness hydraulic energy produced for a constant level of dammed water, which flows in a tubing flowing reducing its diameter by a nozzle, causing the release of water of high speed collided with the blades of hydraulic wheel allows permanent rotation of this, which in turn is coupled through its axle to a generator and thus the mechanical energy is converted in electrical energy. The parameters used in the design: Flow (6,25 l/s), revolutions per minute in hydraulic wheel (42 rpm); speed multiplier - ratio (1:23), electric power generating (1000 watts), to replace generator motor of 950 watts.

The methodology for the development of this project was the experimental, which consists in a systematic process and a scientific to research, where the investigator manipulates one or more variables, controls and measuring any chance in others variables. And the scientific methodology, which is the systematic observation, measurement, experimentation, formulation, analysis and modification of the hypothesis initially raised.

Keywords: generation, energy, electric, system, hydraulic, home.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento de objetivos

La posición geográfica del país permite tener el privilegio de una gran cantidad de ríos y vertientes dentro del territorio nacional. Con esta pequeña reseña es fácil imaginar la gran capacidad hídrica del país, la cual en anteriores épocas no fue considerada como elemento principal para generar energía eléctrica.

Ecuador al ser un país petrolero, gran parte de su potencial eléctrico es obtenido de termoeléctricas, las cuales se caracterizan principalmente en ser poco amigables con el ambiente.

En la actualidad, el Gobierno Nacional en alianza con universidades, impulsa el compromiso de conservar el ambiente, al crear soluciones energéticas a través de proyectos amigables con el ecosistema.

Por esta razón, este proyecto técnico se orienta a generar energía eléctrica con el empleo de una rueda hidráulica, de esta manera se consigue aprovechar el potencial hídrico de la localidad, evitar el uso de generador a motor y lo más importante cuidar el ambiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Generar energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una vivienda del Cantón Lago Agrio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar la viabilidad del proyecto y el caudal existente en el sector.
- b. Seleccionar alternativas para el tipo de rueda hidráulica que se aplicará en el proyecto.
- c. Desarrollar el diseño de la rueda hidráulica y del sistema multiplicador de velocidad, estos parámetros permitirán el accionamiento del generador eléctrico para iluminación de la vivienda.
- d. Dimensionar los elementos de la rueda hidráulica en base a los planos de diseño y cálculos respectivos del sistema.
- e. Realizar montaje y pruebas de funcionamiento.
- f. Analizar viabilidad del proyecto

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Energía hidráulica

Según lo expuesto por IEC (2008) se denomina energía hídrica o energía hidráulica a la energía cinética y potencial proveniente de las corrientes de agua, saltos de agua producidas por los cauces de ríos y océanos (pág. 4).

2.2 Centrales hidroeléctricas

2.2.1 Definición de centrales hidroeléctricas

Inmaculada Fernandez & Robles Diaz (2012) definen como central hidroeléctrica a las instalaciones cuya función es el almacenamiento de agua a una altura requerida para lograr que la energía potencial producida en la caída de agua, desde el reservorio hasta el punto donde se encuentran las hélices o cucharas de la turbina hidráulica produzca el accionamiento de esta, la cual por medio de su eje de rotación acoplada al eje del rotor de un generador eléctrico genera energía eléctrica (pág. 3).

2.2.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas pequeñas

Tabla 1. Clasificación de centrales hidroeléctrica pequeñas.

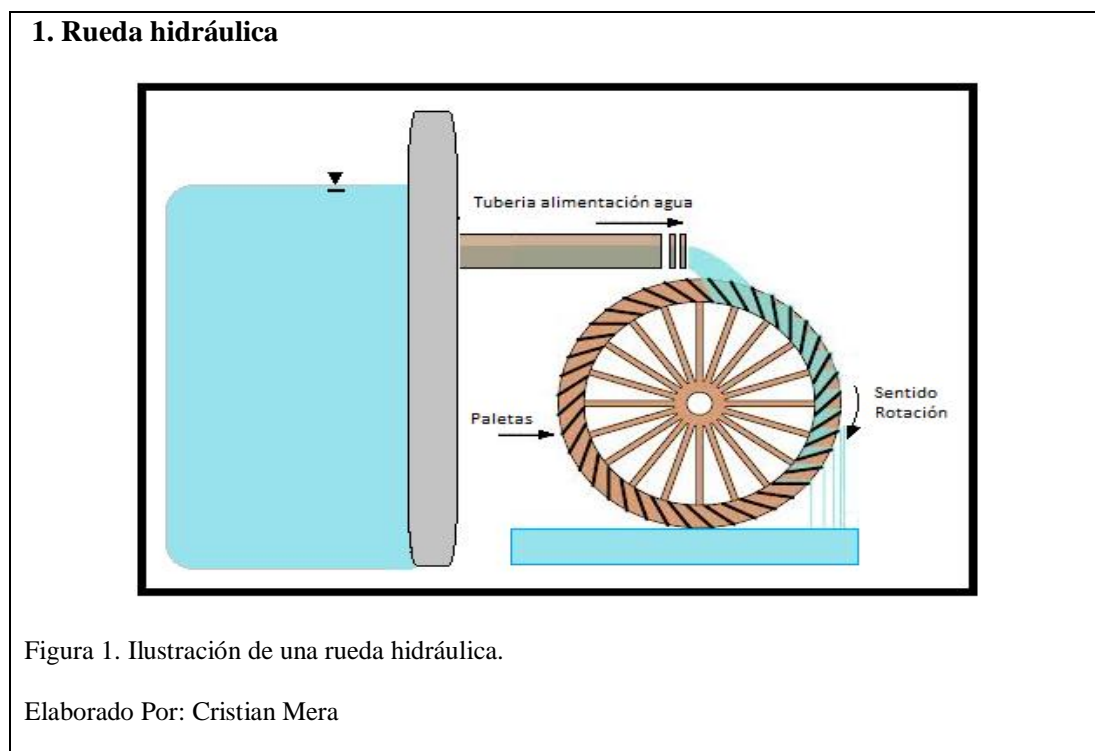
| Centrales hidroeléctricas | Potencia |
|----------------------------------|-----------------|
| Pico | 50 W hasta 5Kw |
| Micro | 5Kw a 500 kW |
| Mini | 500Kw a 15MW |

Nota: Clasificación de centrales hidroeléctricas pequeñas cuya potencia se mide en watts.

Fuente: Comisión Electrotecnia Internacional, (pág. 4, 2008)

La IEC (2008) permite clasificar a las pequeñas centrales hidroeléctricas en función a la potencia de generación eléctrica (pág. 4).

2.3 Rueda Hidráulica



La rueda hidráulica considerada como primer motor hidráulico de apariencia circular, compuesta por varias paletas distribuidas equitativamente en su contorno, al chocar con una corriente o caída de agua que fluye a una determinada fuerza y velocidad es capaz de iniciar el desplazamiento circular de la paleta e impulsar de esta manera el giro de la rueda.

De esta manera por medio de la rueda hidráulica se aprovecha la energía hidráulica contenida en un embalse o corriente de agua transformada en energía mecánica, la cual puede tener una gran variedad de aplicaciones como el movimiento de un mecanismo, molinos, bombas de agua, maquinaria de carpintería; así como también puede ser

aplicada en transformar la energía mecánica en energía eléctrica al acoplar el movimiento del eje de la rueda hidráulica al eje de un generador eléctrico para generar energía eléctrica (Aubrey, 1965, págs. 94-97).

Esta puede ser una solución para compensar la falta de suministro eléctrico en sectores rurales pequeños y aislados donde las redes de servicio eléctrico no existen debido a su alto costo de implementación, baja demanda y reducido número de beneficiarios.

2.4 Clasificación de las ruedas hidráulicas

Álvarez Cardona (1985) expone que las ruedas hidráulicas para recibir la energía del agua pueden tener cajones o paletas y están clasificadas en tres tipos:

- Ruedas de agua por debajo o alimentación inferior (undershot).
- Ruedas de agua de costado o de alimentación intermedia (Breastshot).
- Ruedas de agua por encima o alimentación superior (Overshot).

La rueda de agua por encima capta el agua en cajones y las ruedas de agua de costado e inferior reciben el agua en paletas (pág. 19).

2.4.1 Ruedas alimentación inferior (undershot)

El funcionamiento de las ruedas undershot se produce por el impacto del agua, que fluye por debajo de la rueda, contra los álabes que pueden ser de tipos rectos o curvos los cuales impulsan el giro de la rueda, cabe resaltar que el canal donde se instala la rueda tiene un ancho mayor al de la rueda para poder aprovechar al máximo la potencia hidráulica del canal (Álvarez Cardona, 1985, pág. 19).

2. Rueda alimentación inferior (undershot)

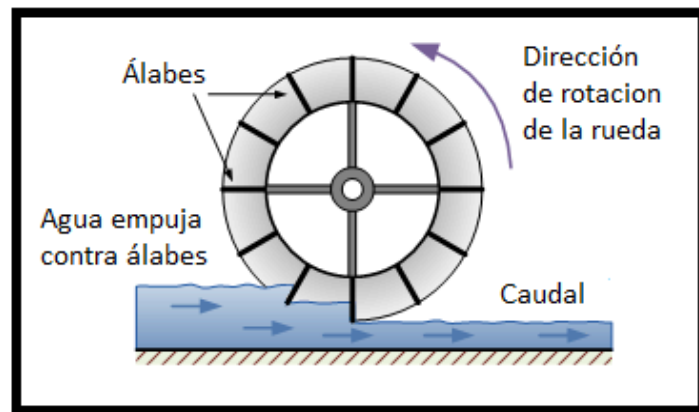


Figura 2. Rueda hidráulica de alimentación inferior tipo paletas.

Fuente: (Alternative Energy, 2013)

2.4.2 Rueda alimentación intermedia (Breastshot)

La rueda de alimentación intermedia recibe el agua aproximadamente a la altura del eje, donde los álabes denominados cangilones o arcaduz son llenados de líquido hasta alcanzar el peso necesario para que por efecto de la gravedad impulse el giro de la rueda (Álvarez Cardona, 1985, pág. 26).

3. Rueda alimentación intermedia (Breastshot)

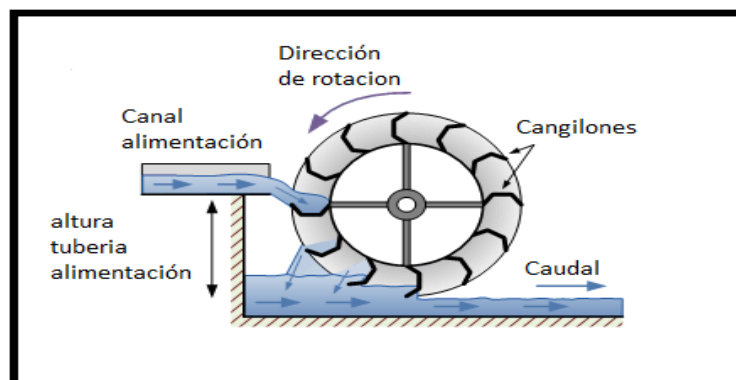


Figura 3. Rueda de agua de alimentación intermedia

Fuente: (Alternative Energy, 2013)

2.4.3 Ruedas alimentación superior (Overshot)

La rueda de alimentación superior recibe el agua desde una altura superior al diámetro de la rueda, donde los álabes denominados cangilones o arcaduz distribuidos equitativamente en el perímetro de la rueda, son llenados de líquido hasta alcanzar el peso necesario para que por efecto de la gravedad impulse el giro continuo de la rueda (Álvarez Cardona, 1985, pág. 29).

4. Rueda de alimentación superior (Overshot)

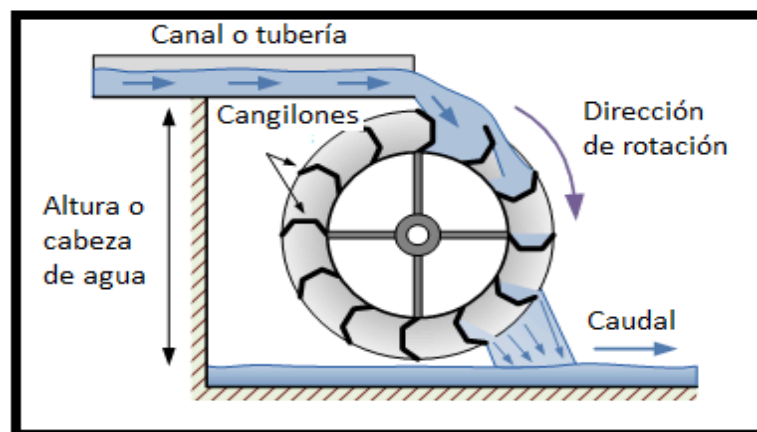


Figura 4. Rueda hidráulica de alimentación superior

Fuente: (Alternative Energy, 2013)

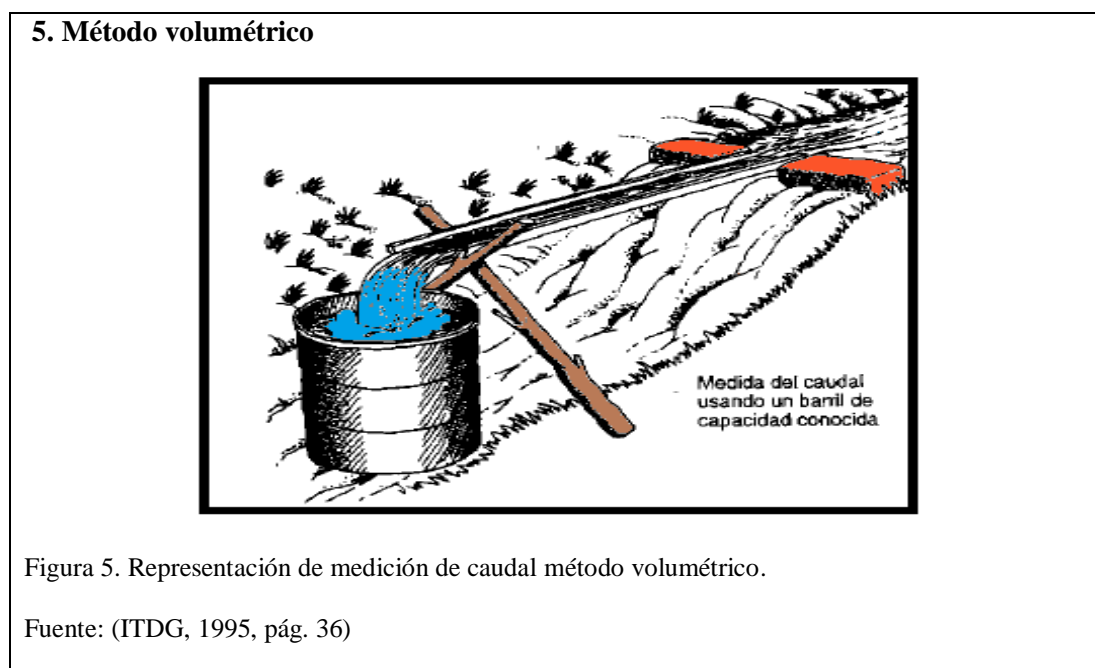
2.5 Medición caudal

CEPES (2011) expresa que para realizar la medición de caudal existen varios métodos, de los cuales los más empleados debido a su sencillez de empleo, manejo y entendimiento son los métodos de recipiente o volumétrico y de velocidad-área. El

método volumétrico es usado para caudales hasta de un máximo de 10 l/s y el método velocidad-área es usado para caudales mayores a 10 l/s (pág. 30).

2.5.1 Método volumétrico

Para la medición de caudal con el método volumétrico la ITDG (1995) explica que se realiza el canalizado o entubado del agua de tal manera que se produzca un chorro que permita medir el tiempo necesario en llenar un recipiente de volumen o dimensiones conocidas. El resultado del caudal se obtiene al dividir el volumen por el tiempo de llenado (pág. 36).



2.5.2 Método velocidad-área

Este método consiste en la medición de la velocidad del agua que fluye por la parte superficial del canal; se lo realiza midiendo el tiempo que demora en recorrer un flotador una distancia uniforme que está determinada con un punto inicial y otro final (ITDG, 1995, págs. 36-37).

6. Método velocidad-área

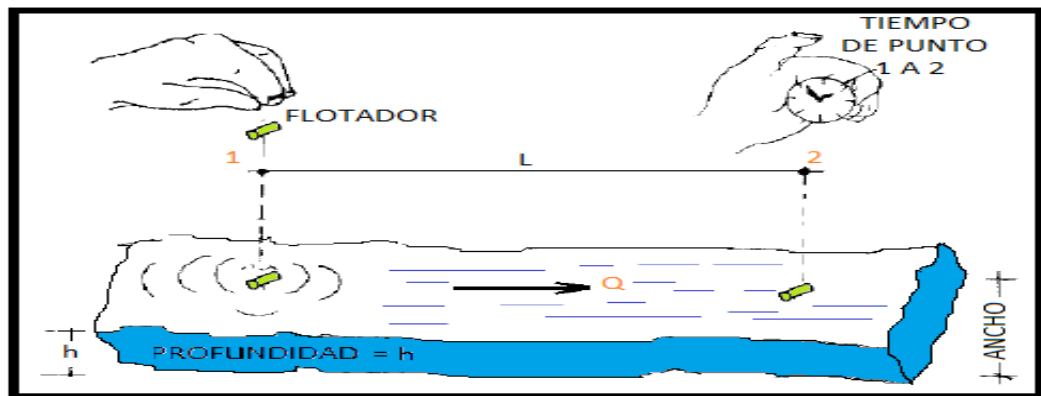


Figura 6. Representación de medición de caudal método velocidad-área.

Fuente: (CEPES, 2011, pág. 31)

2.6 Materiales utilizados

2.6.1 Chumaceras

La chumacera del cual NTN (2015) explica que se forma de un rodamiento rígido, tipo bola de una hilera, con una junta de retén o sellos que fija a ambos lados y por los diferentes tipos de soporte o alojamiento en hierro fundido . El anillo externo del rodamiento de apariencia esférica al igual que el alojamiento de este ayudan a un óptimo montaje y permite conseguir el auto-alineamiento (pág. 11).

7. Chumaceras



Figura 7. Chumaceras de piso y de pared

Fuente: (NTN, 2015, pág. 11)

2.6.2 Multiplicador de velocidad

Shigley, Joseph (2008) define a un multiplicador de velocidad como un sistema de transmisión formado por engranes, poleas o catalinas, que permite obtener una velocidad de salida mayor que la de entrada (pág. 678).

8. Multiplicador de velocidad

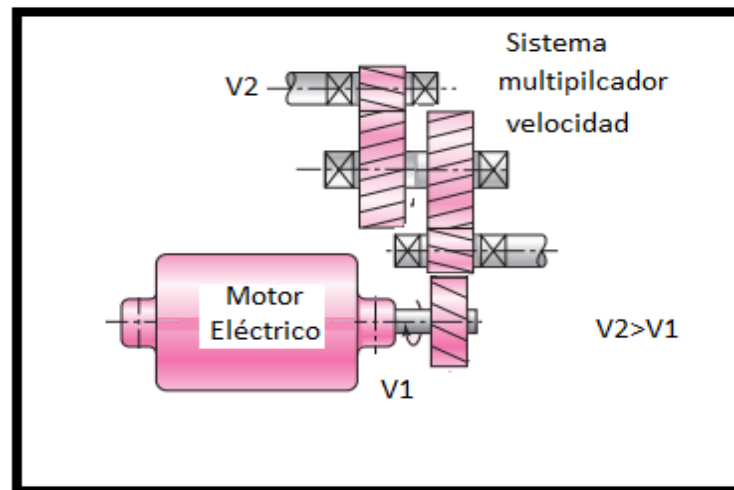


Figura 8. Sistema de engranes multiplicadores de velocidad

Fuente: (Shigley, 2008, pág. 693)

2.6.2.1 Transmisión por cadena

Las transmisiones por cadena son transmisiones robustas, usadas para transferir movimiento entre dos ejes paralelos que estén a diferente distancia entre sí. Con una buena lubricación, la transmisión por cadena trabaja en condiciones ambientales adversas, elevadas temperaturas y brinda una excelente eficiencia en la transmisión de potencia entre 96 a 98% con un elevado número en horas de servicio (Galbarro, 2015).

9. Transmisión por cadena

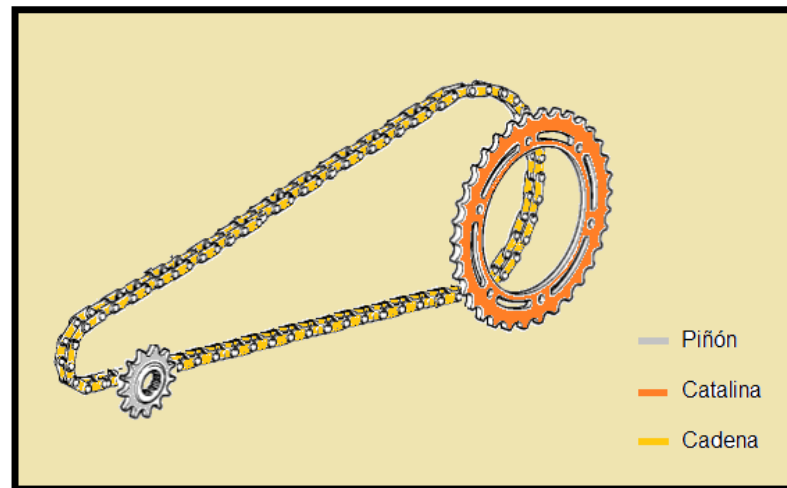


Figura 9. Sistema de transmisión por cadena

Elaborado por: Cristian Mera

El conjunto de la transmisión está integrada por piñon (rueda conductora), catalina (rueda conducida) y cadena la cual abraza las ruedas engranando en los dientes.

2.6.2.2.1 Catalina y piñón

Una catalina está definida por Larburu (2004) como una rueda dentada que transmite por medio de los dientes tallados en su superficie, la rotación de los ejes donde están montadas. La rueda dentada mayor es la catalina y la menor es el piñon (pág. 320).

2.6.2.2.2 Cadenas

Larburu (2004) expone que las cadenas a rodillo están formadas por una hilera de eslabones unidos con pasadores. Los rodillos ubicados en la parte interna del eslabón limita su posición, permitiendo construir un mecanismo flexible para transmitir movimiento (pág. 310).

2.6.3 Generador

El generador eléctrico permite transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Se llama inductor al elemento que produce el campo magnético e inducido donde se origina la energía eléctrica (Chapman, 2012, pág. 272).

10. Esquema de Funcionamiento de generador eléctrico

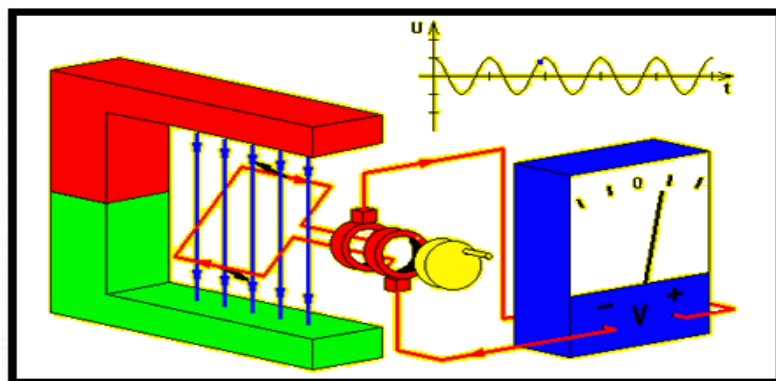


Figura 10. Esquema de funcionamiento de generador eléctrico

Fuente: (Chapman, 2012, pág. 272)

Se puede observar en el esquema, el funcionamiento de un generador eléctrico donde las flechas de color negro están en el sentido de rotación de la bobina; las líneas azules señalan el campo magnético en dirección del Polo Norte al Sur; y las flechas rojas indican la dirección del flujo de la corriente alterna inducida.

2.6.4 Aluminio ASTM A1200

La rueda hidráulica se contruyó con plancha lisa de aluminio ASTM A1200, con temple H14

2.6.4.1 Descripción

DIPAC (2016) explica que el aluminio liso ASTM A1200 con porcentaje mínimo de 99% en pureza, brinda buena resistencia a la corrosión, suelda satisfactoriamente, se puede obtener el máximo de propiedades al desarrollar tratamientos térmicos (pág. 18).

2.6.4.2 Propiedades mecánicas

Tabla 2. Propiedades mecánicas aluminio liso ASTM A1200 H14.

| Limite Elástico Rp 0,2 N/mm | Carga Rotura Rm N/mm | Dureza (HB) | Alargamiento a 5,65% |
|--------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| 115 | 125 | 37 | 20 |

Nota: Propiedades mecánicas aluminio liso norma ASTM serie A 1200 con temple H14

Fuente: Galbarro, (2015)

2.6.4.3 Propiedades Físicas

Tabla 3. Propiedades físicas aluminio liso ASTM A1200 H14.

| Espesor (mm) | Dimensiones (mm) | Densidad (g/cm3) |
|--------------|------------------|------------------|
| 3 | 1220x2440 | 2,73 |

Nota: Propiedades físicas aluminio liso norma ASTM serie A 1200 con temple H14

Fuente: DIPAC, (2016)

2.6.4.4 Composición química

Tabla 4. Composición química aluminio liso ASTM A1200 H14.

| Fe | Si | Cu | Mn | Mg | Zn | Ti | Al |
|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 0,24 % | 0,57 % | 0,030 % | 0,025 % | 0,01 % | 0,047 % | 0,01 % | 99,068% |

Nota: Composición química aluminio liso norma ASTM serie A 1200 con temple H14

Fuente: DIPAC, (2016)

2.6.4.5 Usos

Posee una amplia variedad de aplicaciones como recubrimiento de paredes, estructuras de furgones para camiones, álabes de turbinas, ductos, recipiente para alimentos líquidos corrosivos.

2.6.4.6 Tratamientos térmicos

Aluminio liso de la serie ASTM A1200 de temple H14 pertenece a las aleaciones de aluminios que no pueden ser tratadas térmicamente. Estos aumentan su resistencia mediante trabajo mecánico en frío (Galbarro, 2015).

2.6.5 Soldadura MIG

2.6.5.1 Descripción del proceso

Este proceso impulsa de manera continua y velocidad predeterminada al alambre-electrodo, mediante un sistema de alimentación automático. El alambre-electrodo sale bañado por una nube de gas protector hacia el punto de trabajo donde produce el arco eléctrico entre el alambre electrodo y la pieza a soldar (ESAB, 2016).

Se denomina soldadura MIG (Metal Inert Gas), cuando el gas de protección no participa en la reacción de la soldadura; y, soldadura MAG (Metal Active Gas) cuando el gas de protección participa en forma activa en el proceso de soldadura (Galbarro, 2015).

Tabla 5. Parámetros caracterizan a proceso MIG-MAG.

| Fuente de calor | Tipo electrodo | Tipo proteccion | Material aportación | Aplicaciones |
|-----------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Arco eléctrico | Consumible | Gas inerte MIG Gas activo MAG | Externa carrito de electrodo | MAG en aceros MIG resto de metales |

Nota: Parámetros que caracterizan a este tipo de proceso MIG- MAG

Fuente: Galbarro, (2015)

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

3.1 Criterios para selección de sistema de rueda hidráulica

Álvarez Cardona (1985) expone que la selección del tipo de rueda a usar en un determinado espacio hidrológico se lo realiza considerando la geografía del lugar, para ello debemos considerar lo siguiente:

- Caudal del agua disponible en litros por segundo.
- Salto hidráulico medido en metros. Este es la distancia desde el reservorio de agua o represa hasta el punto de contacto con la paleta o cangilón de la rueda hidráulica.

Estos son los criterios principales en el seleccionamiento del tipo de rueda a emplear, sin dejar a un lado los factores sobre facilidad de fabricación, transporte y mantenimiento considerado para zonas rurales (págs. 19-30).

3.2 Rueda hidráulica acoplada a generador eléctrico

Se transforma la energía hidráulica en energía mecánica, al emplear una rueda hidráulica, la cual transmite la potencia mecánica por medio de su eje, acoplada generalmente a una transmisión en base al nivel de carga requerido (fuerza torque) y normativa de trabajo (velocidad angular, velocidad lineal) que convertida en potencia eléctrica, se utiliza en abastecimiento de cargas eléctricas, como iluminación, accionamiento de maquinaria y electrodomésticos (Heredia L. F., 2009, pág. 6).

11. Rueda hidráulica acoplada a generador eléctrico

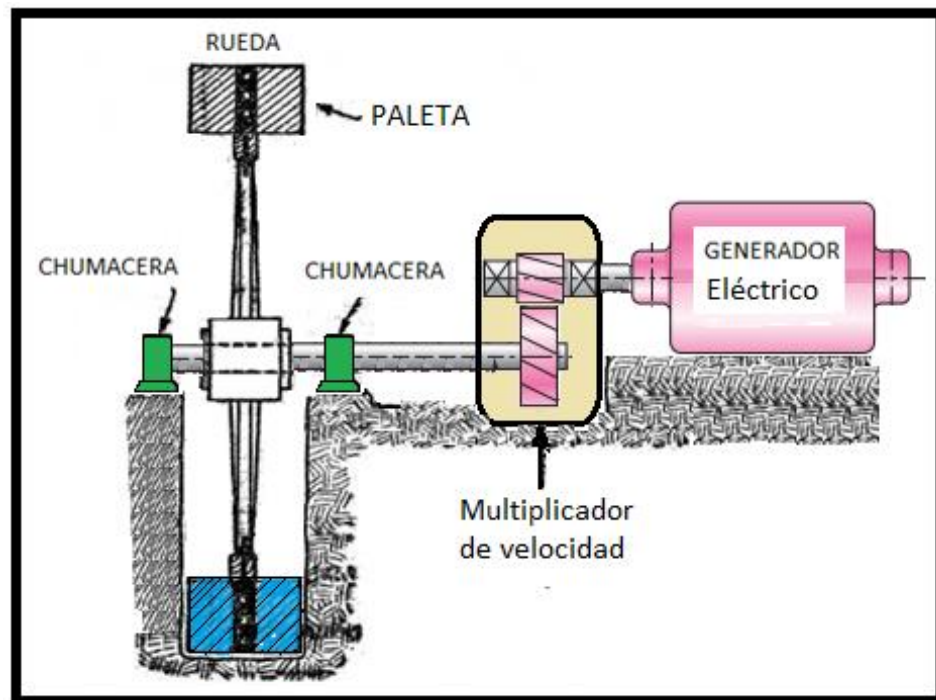


Figura 11. Esquema de mecanismo con rueda hidráulica.

Fuente: Cristian Mera

Heredia (2009) expresa que el diseño de la transmisión para acoplar el generador eléctrico con la rueda hidráulica debe sustentar el torque necesario para vencer la inercia del generador y lograr el número de revoluciones requeridas, que por lo general son elevadas en comparación al régimen de giro de la rueda, de esta manera consigue que el generador opere con una eficiencia aceptable (pág. 7).

3.3 Análisis de alternativas

3.3.1 Alternativa 1

3.3.1.1 Rueda Hidráulica de alimentación superior-overshot

Müller (2003) expone que la rueda de agua de alimentación superior se utiliza en terrenos inclinados como laderas o montañas donde la diferencia de alturas entre el punto del reservorio hasta la rueda, permite tener variación de presión, volumen, velocidad de agua necesaria para determinar, el diametro, anchura y velocidad de la rueda formada por cangilones o cubos diseñado con un modelo tal, que el chorro de agua ingrese al cangilón en su ángulo natural de caída; cada cangilón debe ser llenado con hasta 30 - 50% de su volumen para obtener una eficiencia cercana al 85% incluso con pequeños caudales de modo que la rueda de agua de alimentación superior (cuando está bien diseñada) puede ser considerada como un convertidor de energía bastante eficiente (págs. 3-4).

12. Gráfico de eficiencia- caudal; eficiencia-revoluciones rueda admisión superior

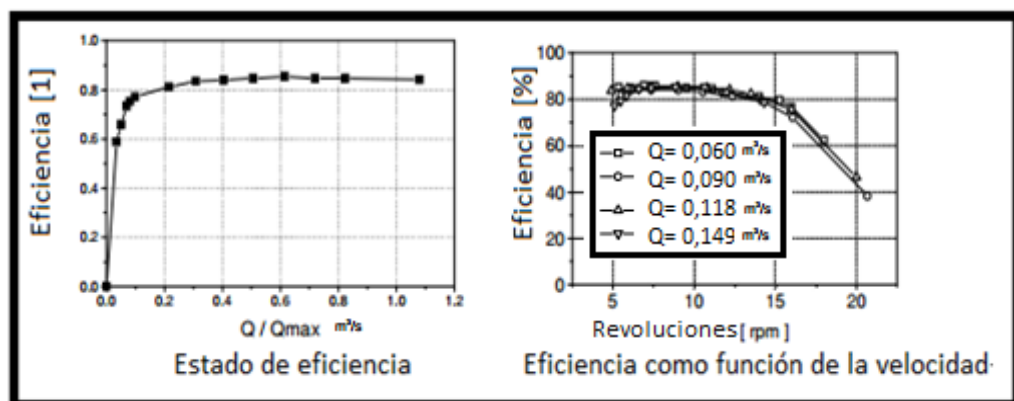


Figura 12. Gráficos sobre variación de eficiencia en base a caudal y revoluciones en rueda hidráulica de admisión superior.

Fuente: (Müller, 2003, pág. 4)

13. Rueda hidráulica alimentación superior



Figura 13. Esquema rueda hidráulica de alimentación superior acoplada a generador.

Fuente: (For teachers for students, 2014)

3.3.1.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación superior

Tabla 6. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación superior.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-------------------------------|---|
| Alta Eficiencia cercana a 85% | Alto costo de construcción |
| Trabaja con pequeños caudales | No funcional en terrenos con baja pendiente |
| Mínimo mantenimiento | Rotación a bajas revoluciones |
| Fiabilidad y durabilidad | |

Nota: Tabla de ventajas y desventajas al usar ruedas hidráulicas de alimentación superior, resultado del análisis de los libros bibliográficos utilizados en la elaboración de este documento.

Elaborado por: Cristian Mera

3.3.2 Alternativa 2

3.3.2.1 Rueda Hidráulica de alimentación intermedia-breastshot

Las ruedas de alimentación intermedia se utilizan en situaciones donde la cabeza del agua es insuficiente para alimentar un diseño de rueda de agua de alimentación superior. Respecto al diseño de la rueda es de características y geometría similares a la rueda de alimentación superior con la diferencia que la entrada del chorro de agua lo recibe a la altura del eje; sin embargo, una rueda de alimentación intermedia bien construida puede alcanzar una eficiencia de hasta 80% haciéndolas casi tan eficientes como las ruedas de alimentación superior (Müller, 2003, pág. 5).

14. Rueda hidráulica alimentación intermedia

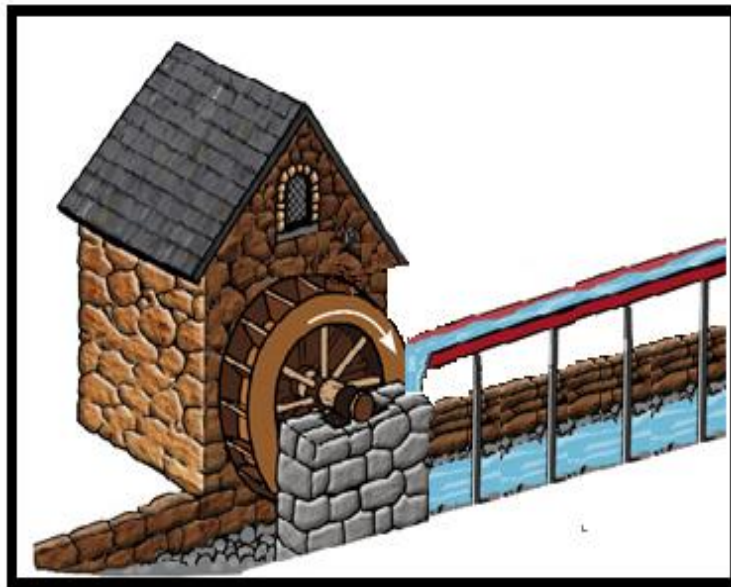


Figura 14. .Esquema rueda hidráulica de alimentación intermedia acoplada a generador.

Fuente: (*For teachers for students, 2014*)

3.3.2.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica alimentación intermedia

Tabla 7. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación intermedia.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| Alta Eficiencia cercana a 80% | Alto costo de construcción |
| Aprovecha el peso del agua para su rotación | No funcional en terrenos con baja pendiente |
| Mínimo mantenimiento | Rotación a bajas revoluciones |
| Fiabilidad y durabilidad | Suministro de agua más complejo |

Nota: Tabla de ventajas y desventajas al usar ruedas hidráulicas de alimentación intermedia, resultado del análisis de los libros bibliográficos utilizados en la elaboración de este documento.

Elaborado por: Cristian Mera

3.3.3 Alternativa 3

3.3.3.1 Rueda Hidráulica de alimentación inferior-undershot

La rueda hidráulica de alimentación inferior se usa con frecuencia en terrenos planos con carencia de pendiente natural o donde el movimiento en el flujo del agua es rápido: Este tipo de rueda hidráulica es de bajo costo de fabricación. La instalación no es compleja, pero su rendimiento es bastante bajo en comparación con otros impulsores mecánicos o turbinas (Alternative Energy, 2013).

15. Rueda hidráulica alimentación inferior acoplada a generador eléctrico

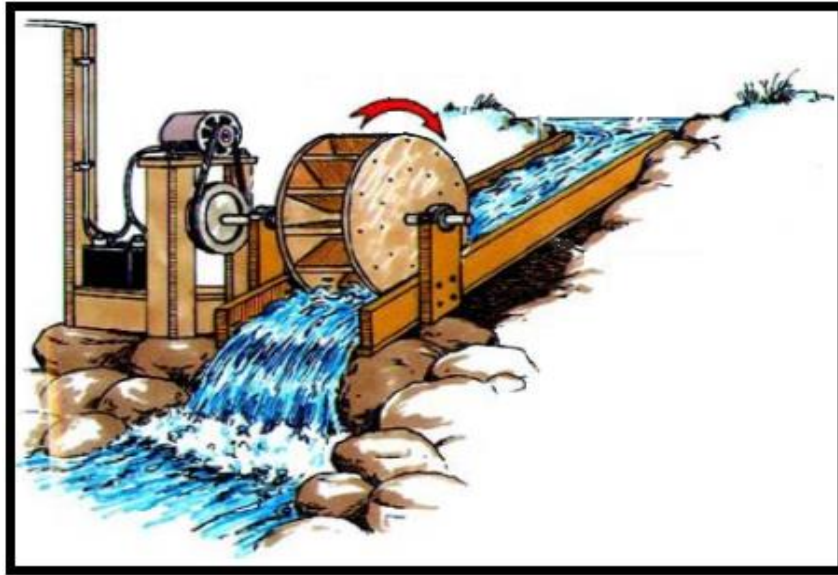


Figura 15. Esquema rueda hidráulica de alimentación inferior acoplada a generador eléctrico.

Fuente: (*Kids&Energy*, 2005)

El máximo rendimiento teórico a obtener comprende el 50%, pero en la práctica obtener este valor es muy raro puesto que al considerar pérdidas de rendimiento debido a fugas laterales de agua en la rueda, en el mecanismo de transmisión, en rodamientos, etc. Es común obtener rangos de 25 o 35 % de rendimiento. Una forma de mejorar el rendimiento de la rueda es transportar el agua represada a lo largo de un canal angosto o conducto de modo que el 100% del agua transportada se utilice para girar la rueda, de esta manera, se consigue que la velocidad periférica de la rueda sea 0.4 la velocidad del agua (Álvarez Cardona, 1985, págs. 20-25).

3.3.3.2 Ventajas y desventajas rueda hidráulica alimentación inferior

Tabla 8. Ventajas y desventajas rueda hidráulica de alimentación inferior.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--------------------|
| Bajo costo de construcción | Baja Eficiencia |
| Funciona en terrenos con reducida pendiente | |
| Mínimo mantenimiento | |
| Fiabilidad y durabilidad | |
| Opera con bajas y altas corrientes | |

Nota: Tabla de ventajas y desventajas al usar ruedas hidráulicas de alimentación inferior, resultado del análisis de los libros bibliográficos utilizados en la elaboración de este documento.

Elaborado por: Cristian Mera

3.4 Selección del sistema de rueda hidráulica

Para determinar el sistema de rueda hidráulica que cumple mejor las condiciones del lugar se aplicó una matriz de selección, presentada en la tabla 4, con los distintos tipos de rueda y varios parámetros considerados en la evaluación de la alternativa más viable.

Tabla 9. Matriz de selección del sistema de rueda hidráulica

| | Tipos de rueda por alimentación | | |
|--------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|
| | Superior | Intermedia | Inferior |
| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
| Geografía lugar | 1 | 2 | 4 |
| Eficiencia | 4 | 3 | 2 |
| Menor costo | 2 | 2 | 5 |
| Fácil fabricación | 2 | 3 | 5 |
| Instalación | 3 | 3 | 3 |
| Mantenimiento | 2 | 3 | 2 |
| Caudal Necesario | 2 | 3 | 4 |
| Total /30 | 16 | 19 | 25 |

Nota: Calificación; 5 = Muy alto; 4 = Alto; 3 = Medio; 2 = Bajo; 1 = Muy bajo. La matriz de selección, son resultado del análisis de los libros bibliográficos utilizados en la elaboración de este documento

Fuente: Cristian Mera

Luego de analizar los parámetros expuestos en la Matriz de selección del sistema de rueda hidráulica, se determinó que la rueda hidráulica de alimentación inferior representada en la alternativa 3, es la más propicia debido a su bajo costo de producción, facilidad de fabricación y a las condiciones del lugar.

CAPÍTULO IV

DISEÑO RUEDA HIDRÁULICA

Para dimensionar la rueda hidráulica y su capacidad de generación eléctrica, se considera dos variables dependiente una de la otra: La primera es medir el caudal y velocidad del agua que fluye por la vertiente con lo cual se construye la rueda; la segunda, en base a las revoluciones por minuto (rpm) a las que gira la rueda, se selecciona la relación de transmisión idónea, que permita alcanzar las rpm necesarias para el correcto funcionamiento del generador.

4.1 Diseño hidráulico de rueda

4.1.1 Caudal a la salida de represa

16. Medición de caudal



Figura 12. Medición de caudal práctico por método volumétrico.

Fuente: Cristian Mera

El caudal del agua a la salida de la represa se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{EC. 1}$$

Donde al reemplazar los correspondientes valores con los datos obtenidos en mediciones de campo se obtiene:

$$Q = \frac{20}{3,2}$$

$$Q = 6,25 \frac{l}{s} = (6,25 \times 10^{-3}) m^3/s$$

Donde:

Q: Caudal [m^3/s]

V: Volumen del recipiente [l]

t: Tiempo en llenar el recipiente [s]

4.1.2 Velocidad del agua a la salida de represa

La velocidad del agua a la salida de la represa se calcula mediante la conocida ecuación de velocidad de Torricelli:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{EC. 2}$$

Donde al reemplazar los correspondientes valores con los datos obtenidos en mediciones de campo se obtiene:

$$v = \sqrt{2 \cdot (9,8) \cdot (1,2)}$$

$$v = 4,85 \frac{m}{s}$$

Donde:

v: Velocidad [m/s]

g: Gravedad de la tierra [m^2/s]

h: Altura [m]

4.1.2.1 Velocidad media del fluido en la tubería

Bustamante (2011) expresa que la velocidad no es uniforme en la sección transversal del tubo, por lo cual es necesario aplicar un factor de corrección para obtener un valor más real de la velocidad del fluido en la tubería (pág. 42).

17. Coeficiente de pérdida de energía a la entrada de tubería

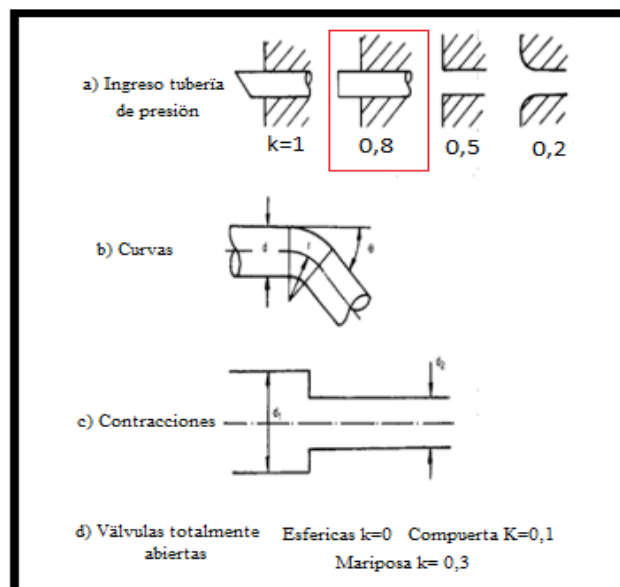


Figura 17. Grafico guía para selección de coeficiente de pérdida de energía.

Fuente: (Bustamante, 2011, pág. 42)

Los coeficientes de pérdidas de energía están determinados en base a la manera cómo ingresa el fluido a la tubería, por lo cual, en este caso usamos el valor resaltado en rojo en la figura 18 donde $k=0,8$. La velocidad media del fluido se determina con la siguiente ecuación:

$$\tilde{v} = K_f \cdot v \quad \text{EC. 3}$$

Donde al reemplazar los correspondientes valores con los datos obtenidos en EC 2 se obtiene:

$$\tilde{v} = (0,8) \cdot (4,85)$$

$$\tilde{v} = 3,879 \frac{m}{s}$$

Donde:

\tilde{v} : Velocidad media [m/s]

K_f : Coeficiente de pérdida a la entrada de la tubería [adimensional]

v : Velocidad [m/s]

4.1.2.2 Velocidad del chorro a la salida de la tobera

La velocidad del chorro está definida por Bustamante (2011) como aquella que transmite la energía potencial del agua al punto donde el chorro de agua impacta con el álabe de la rueda (pág. 42).

$$C_1 = K_{c1} \cdot \tilde{v} \quad \text{EC. 4}$$

Donde al reemplazar los correspondientes valores con los datos obtenidos en EC 3 se obtiene:

$$C_1 = (0,97) \cdot (3,879)$$

$$C_1 = 3,49 \frac{m}{s}$$

Donde:

C_1 : Velocidad del chorro [m/s]

KC_1 : Coeficiente de velocidad [adimensional]

4.1.2.3 Diámetro salida de tobera

Según los conceptos y fórmulas explicadas por Mataix (1986), el diámetro de salida de tobera está en función del diámetro del chorro, el cual se determina con la relación (pág. 494):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot C_1}} \quad \text{EC. 5}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$d = \sqrt{\frac{(4)(6,25 \times 10^{-3})}{(\pi)(3,49)}}$$

$$d = 0,048 \text{ m} = 48 \text{ mm}$$

Donde:

d: Diámetro del chorro [m]

4.1.3 Geometría rueda hidráulica

4.1.3.1 Diámetro de rueda hidráulica

Mataix (1986) dice que el diámetro de rodete tipo Pelton se calcula mediante la ecuación (pág. 489):

$$D_r = \frac{d \cdot 75 \cdot \sqrt{K c_1 \cdot \eta_r}}{\bar{v}} \quad \text{EC. 6}$$

Al reemplazar los correspondientes valores con los datos solicitados se obtiene:

$$D_r = \frac{(0,048) \cdot (76) \cdot \sqrt{(0,9) \cdot (0,82)}}{3,879}$$

$$D_r = 0,797 = 0,8 \text{ m}$$

4.1.3.2 Numero de álabes

Mataix (1986) expresa que el número de alabes se calcula mediante la ecuación (pág. 493):

$$z = 15 + \frac{D_r}{2 \cdot d} \quad \text{EC. 7}$$

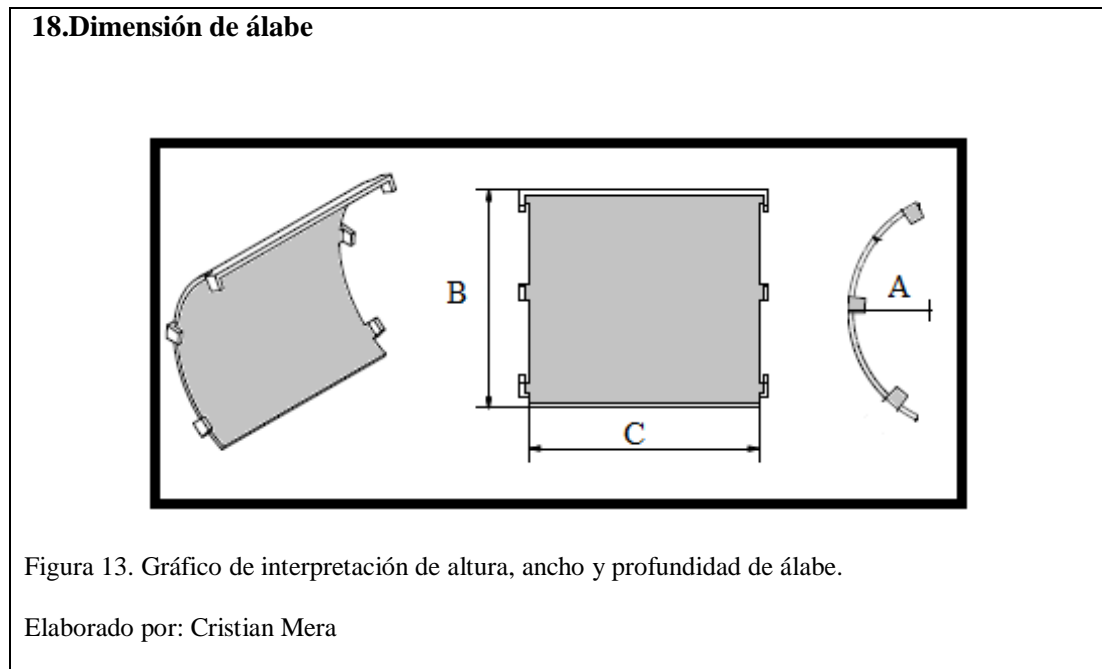
Al reemplazar los correspondientes valores con los datos solicitados se obtiene:

$$z = 15 + \frac{0,8}{2(0,048)}$$

$$z = 23,3 = 24 \text{ Álabes}$$

4.1.3.3 Dimensión de álabes

Según los conceptos y fórmulas explicadas por Álvarez Cardona (1985), las dimensiones de los álabes son determinadas en base al cálculo del diámetro del chorro en base a las siguientes ecuaciones (págs. 22-25):



$$A = (0,8 \leftrightarrow 1) \cdot d \quad \text{EC. 8}$$

$$B = (2,25 \leftrightarrow 2,8) \cdot d \quad \text{EC. 9}$$

$$C = (2,6 \leftrightarrow 3) \cdot d \quad \text{EC.10}$$

Al reemplazar los correspondientes valores con los datos solicitados en base al criterio obtenido de lectura de varias bibliografías se obtiene:

$$A = (0,85)(48) \quad ; \quad B = (2,77)(48) \quad ; \quad C = (2,92)(0,48)$$

$$A = 40 \text{ mm} \quad ; \quad B = 133 \text{ mm} \quad ; \quad C = 140 \text{ mm}$$

Donde:

A: Profundidad del álabe [*mm*]

B: Altura del álabe [*mm*]

C: Ancho del álabe [*mm*]

4.1.4 Parámetros a obtener por impacto de agua en el álabe

4.1.4.1 Velocidad tangencial de la rueda

En las turbinas de acción, la velocidad tangencial está representada por la siguiente ecuación (Mataix, 1986, pág. 469).

$$u = K_u \cdot \tilde{v} \quad \text{EC. 11}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$u = (0,45) \cdot (3,879)$$

$$u = 1,745 \frac{m}{s}$$

Donde:

u: Velocidad tangencial rueda [*m/s*]

K_u: Coeficiente de velocidad tangencial rueda [adimensional]

4.1.4.2 Velocidad angular de la rueda

Córdova (2006) dice que la velocidad angular de la rueda calcula mediante la ecuación (pág. 50):

$$n_{rueda} = \frac{u \cdot 60}{\pi \cdot D_r} \quad \text{EC. 12}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$n_{rueda} = \frac{(1,745) (60)}{(\pi)(0,8)}$$

$$n_{rueda} = 41,65 \text{ rpm}$$

4.1.4.3 Eficiencia de rueda hidráulica

La eficiencia de la rueda hidráulica se determina mediante la ecuación general de las turbinas expresada de la siguiente manera (Mataix, 1986, pág. 494):

$$\eta_r = 2 \cdot K_c^{1/2} \cdot K_u \cdot (1 - K_u) \cdot (1 + K_f \cdot \cos(\beta)) \quad \text{EC. 13}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$\eta_r = 2 \cdot (0,97)^2 \cdot (0,45) \cdot (1 - 0,45) \cdot (1 + 0,8 \cdot \cos(15))$$

$$\eta_r = 0,82$$

Donde:

β : Angulo inclinación de alabe, valor comprendido entre 5 a 20 [°]

4.1.4.4 Fuerza hidráulica contra un álabe

Según el desarrollo del triángulo de velocidades explicada por Mataix (1986), la fuerza hidráulica contra un álabe o conocida como fuerza que ejerce el chorro de agua contra un álabe de la turbina, se define con la siguiente ecuación (pág. 502):

$$F_x = \rho \cdot Q \cdot (\tilde{v} - u) \cdot (\cos(\theta)) \quad \text{EC. 14}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$Fx = (1000)(6,25 \times 10^{-3})(3,879 - 1,745) - (\cos(15))$$

$$Fx = 12,35 \text{ N}$$

Donde:

ρ : Peso específico del agua [$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]

θ : Ángulo salida del chorro en este proyecto [$^\circ$]

4.1.4.5 Potencia de rueda hidráulica

La potencia transmitida por el agua a la rueda se calcula mediante la conocida ecuación de la mecánica:

$$P = Fx \cdot u \tag{EC. 15}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$P = (12,35)(1,745)$$

$$P = 21,55 \text{ W}$$

4.1.4.6 Torque de rueda hidráulica

El torque y velocidad angular de la rueda se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{P}{w} \tag{EC. 16}$$

$$w = 2 \cdot \pi \cdot f \tag{EC. 17}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$w = 2(\pi)(1,745) \cdot (41,65 \cdot \frac{rev}{min} \frac{1 min}{60s})$$

$$w = 7,61 \frac{rad}{s}$$

$$T = \frac{P}{w}$$

$$T = \frac{21,55}{7,61}$$

$$T = 2,83 N.m$$

Donde:

w: Velocidad angular de la rueda [$\frac{rad}{s}$]

f: Frecuencia angular de la rueda [$\frac{rev}{s}$]

θ : Ángulo salida del chorro en este proyecto [°]

4.2 Diseño mecánico rueda hidráulica

4.2.1 Diseño eje de rueda

4.2.1.1 Material eje de rueda

Se selecciona un acero inoxidable de la serie 304 con las siguientes características de resistencia:

Tabla 10. Resultados de ensayos a tensión de algunos metales.

| Número | Material | Condición | Resistencia (a la tensión) | | | |
|--------|-------------------------|-----------|----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | | Fluencia | Última | A la fractura, | Coefficiente |
| | | | S_y MPa (kpsi) | S_{ut} MPa (kpsi) | σ_f MPa (kpsi) | $\sigma_{0.2}$ MPa (kpsi) |
| 1018 | Acero | Recocido | 220 [32.0] | 341 [49.5] | 628 [91.1] [†] | 620 [90.0] |
| 1144 | Acero | Recocido | 358 [52.0] | 646 [93.7] | 898 [130] [†] | 992 [144] |
| 1212 | Acero | HR | 193 [28.0] | 424 [61.5] | 729 [106] [†] | 758 [110] |
| 1045 | Acero | TyR 600°F | 1 520 [220] | 1 580 [230] | 2 380 [345] | 1 880 [273] [†] |
| 4142 | Acero | TyR 600°F | 1 720 [250] | 1 930 [210] | 2 340 [340] | 1 760 [255] [†] |
| 303 | Acero inoxidable | Recocido | 241 [35.0] | 601 [87.3] | 1 520 [221] [†] | 1 410 [205] |
| 304 | Acero inoxidable | Recocido | 276 [40.0] | 568 [82.4] | 1 600 [233] [†] | 1 270 [185] |
| 2011 | Aleación de aluminio | T6 | 169 [24.5] | 324 [47.0] | 325 [47.2] [†] | 620 [90] |
| 2024 | Aleación de aluminio | T4 | 296 [43.0] | 446 [64.8] | 533 [77.3] [†] | 689 [100] |
| 7075 | Aleación de aluminio | T6 | 542 [78.6] | 593 [86.0] | 706 [102] [†] | 882 [128] |

Nota: Los valores se tomaron de una o dos fundiciones y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones, la deformación por fractura puede variar el 100% del valor derivado.

Fuente: Budynas & Nisbett, (pág. 1023, 2008)

Con tabla 10 podemos encontrar los valores de resistencia a la fluencia S_y y resistencia a la tensión S_e que posterior serán usados para el cálculo de diámetro del eje con lo cual se obtienen los siguientes valores:

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa} = 5790 \times 10^4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$S_y = 276 \text{ MPa} = 2814 \times 10^4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Según lo expuesto por Budynas & Nisbett (2008) se puede determinar la resistencia a la tensión S_e con la ecuación siguiente (pág. 336):

$$S_e = 0,5 \cdot S_{ut} \quad \text{EC. 18}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$S_e = 0,5(5790 \times 10^4)$$

$$S_e = 2895 \times 10^4 \frac{Kg}{m^2}$$

4.2.1.2 Peso rueda

BAGES ACERS S.L.U (2016) proporciona un programa “Online” para el cálculo del peso de algunos materiales, entre estos el aluminio, material de construcción de la rueda y valor a calcular.

19. Peso Lamina lateral rueda

CALCULADORA DE PESOS

La calculadora de pesos le ayudará a calcular el peso teórico del material solicitado. Le ofrecemos la posibilidad de elegir las unidades de cada una de las medidas y los modelos calculados son rectangulares, circulares, barras perforadas y hexagonales.

☐ Cuadrados y llantas
 ☒ Redondos
 ☐ Perforados
 ☐ Hexagonales

Diámetro: 800 milímetros
 Longitud: 3 milímetros
 Material: Aluminio

Peso total 4,24 Kg

Laminas laterales rueda

Figura 19. Resultado de cálculo de peso en lámina lateral de rueda.

Fuente: (BAGES ACERS S.L.U, 2016)

Al revisar la figura 19, se observa que el peso de una lámina lateral de la rueda es 4,24kg y la rueda está formada por dos láminas es decir:

$$P_{Lrueda} = 2 * 4,24$$

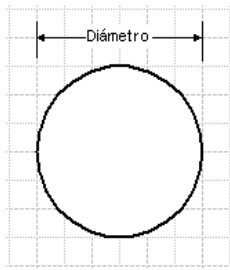
$$P_{Lrueda} = 8,48 \text{ Kg}$$

20. Peso Manzana de rueda

CALCULADORA DE PESOS

La calculadora de pesos le ayudará a calcular el peso teórico del material solicitado. Le ofrecemos la posibilidad de elegir las unidades de cada una de las medidas y los modelos calculados son rectangulares, circulares, barras perforadas y hexagonales.

☐ Cuadrados y llantas ☒ Redondos ☐ Perforados ☐ Hexagonales



Diámetro

Longitud

Material

Peso total 1,00 Kg

Manzana de rueda

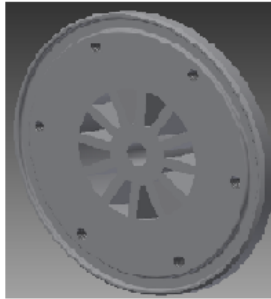


Figura 20. Resultado de cálculo de peso en manzana de rueda.

Fuente: (Mott, 2006, p. 173)

Con el dato obtenido la figura 20, se observa que el peso de una manzana es 1,00 Kg y la rueda está constituida por dos manzanas es decir:

$$P_{Mrueda} = 2 * 1$$

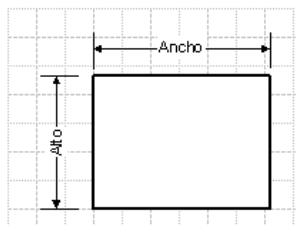
$$P_{Mrueda} = 2 \text{ Kg}$$

21. Resistencias a la fatiga representativas

CALCULADORA DE PESOS

La calculadora de pesos le ayudará a calcular el peso teórico del material solicitado. Le ofrecemos la posibilidad de elegir las unidades de cada una de las medidas y los modelos calculados son rectangulares, circulares, barras perforadas y hexagonales.

☒ Cuadrados y llantas ☐ Redondos ☐ Perforados ☐ Hexagonales



Ancho

Alto

Longitud

Material

Peso total 0,13 Kg

ÁLABES

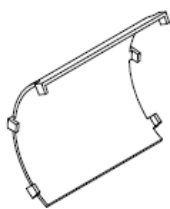


Figura 21. Resultado de cálculo de peso en manzana de rueda.

Fuente: (Mott, 2006, p. 173)

Al verificar en figura 21, que el peso en un álabe de la rueda es 0,13 Kg y la rueda está integrada por una cantidad de 24 álaves se concluye que:

$$P_{Alabe} = 24 * 0,13$$

$$P_{Alabe} = 3,12 \text{ Kg}$$

La suma de los pesos determina el peso de la rueda es decir:

$$P_{Rueda} = 8,48 + 2 + 3,12$$

$$P_{Rueda} = 13,6 \text{ Kg}$$

4.2.1.3 Diámetro eje de rueda

Budynas & Nisbett (2008) dice que el momento de una fuerza con respecto a un punto de apoyo o palanca se determina con la siguiente expresion (págs. 68-70).

$$M = F \cdot d \quad \text{EC. 19}$$

$$M_1 = F_{cad} \cdot d_{cad} \quad ; \quad M_2 = Fx \cdot d_{rueda}$$

$$M_1 = (40,66)(0,1223) \quad ; \quad M_2 = (12,35)(0,4)$$

$$M_1 = 4,97 \text{ Nm} \quad ; \quad M_2 = 4,94 \text{ Nm}$$

Donde:

d_{cad} : Distancia desde diámetro exterior de catalina al eje de la rueda [m]

d_{rueda} : Distancia desde diámetro exterior de rueda al eje de la rueda [m]

M_2 : Momento provocado por el choque del agua en el alabe [Nm]

M_1 : Momento provocado por fuerza que ejerce la cadena en el eje de la rueda [Nm]

Luego de determinar los pesos de las secciones que conforman la rueda y momentos que se producen, por medio de un diagrama de cuerpo libre se calcula las reacciones en los apoyos, diagramas de fuerza cortante y momento flector que actúan sobre el eje mediante el programa MDSolids al ingresar estos datos se obtiene:

22. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del eje de rueda

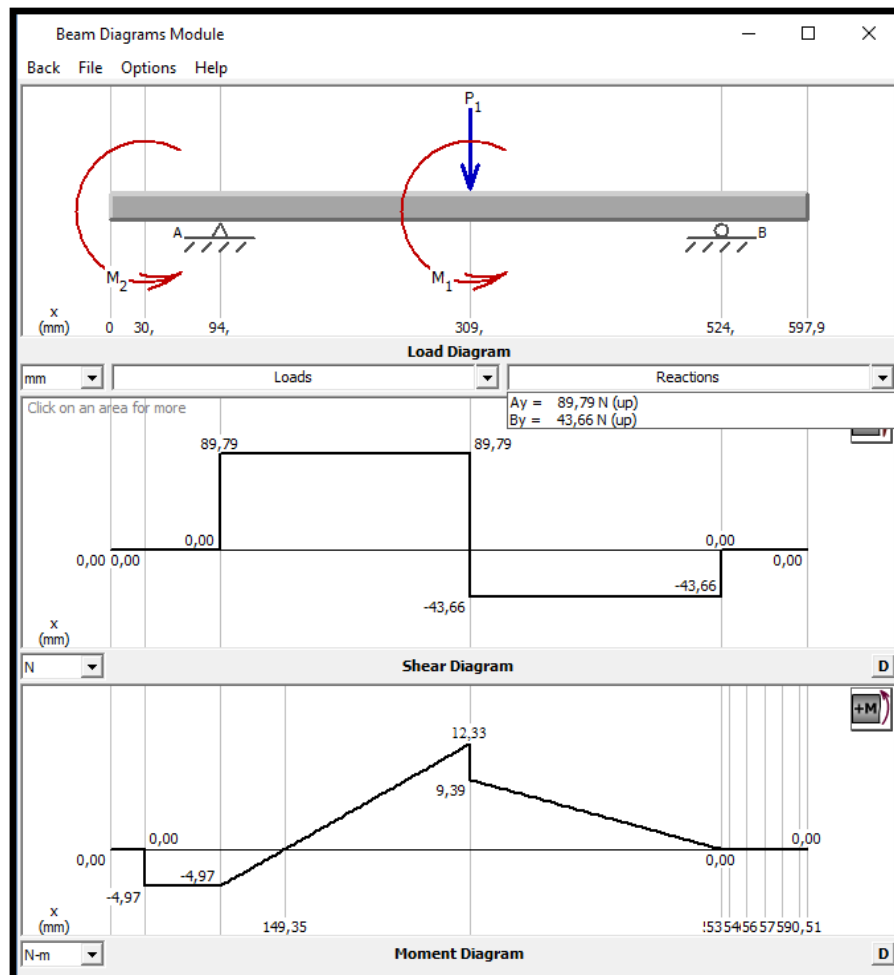


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del eje rueda hidráulica.

Elaborado por: Cristian Mera

El diametro del eje de la rueda se va a determina con el criterio de ED-Soderberg (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 357):

$$d_{eje} = \left(\frac{32f_s}{\pi} \left(\left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right)^{1/2} \right)^{1/3} \quad \text{EC. 20}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$d_{eje} = \left(\frac{32(1,5)}{\pi} \left(\left(\frac{2,83}{2814 \times 10^4} \right)^2 + \left(\frac{12,33}{2895 \times 10^4} \right)^2 \right)^{1/2} \right)^{1/3}$$

$$d_{eje} = 0.1883 \text{ m}$$

$$d_{eje} = 18,83 \text{ mm}$$

El diámetro del eje a seleccionar en el mercado es de $\frac{3}{4}$ equivalente a 19,05 mm con un factor de seguridad de 1.5.

Donde:

f_s : Factor de seguridad valor > 1 a criterio de diseñador [adimensional]

M: Momento flector [Nm]

π : Valor pi es 3,1416 [constante adimensional]

4.2.2 Selección de chumaceras.

Las chumaceras seleccionadas para el eje de la rueda corresponden a la denominación UCP204, mismos que soportan una carga dinámica 12,8KN (FYH, 2015, pág. 54).

Las chumaceras van a estar sometidas a una carga de 89,79 N que el valor máximo de la reacción en el punto A figura 22 con lo cual se puede especular que la vida útil de la chumacera será elevada como se indique con las ecuaciones:

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^3 \quad \text{EC. 21}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n_{rueda}} \quad \text{EC. 22}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$L_{10} = \left(\frac{12,8}{0,08979}\right)^3$$

$$L_{10} = 2,89 \times 10^6 \text{ Rotaciones}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6 (2,89 \times 10^6)}{60 (41,65)}$$

$$L_{10h} = 1,16 \times 10^9 \text{ Horas}$$

Donde:

L_{10} : Duración vida nominal 10^6 [rotaciones]

L_{10h} : Vida útil [horas]

C_r : Capacidad carga dinámica [KN]

P_r : Carga dinámica equivalente [KN]

4.2.3 Multiplicadora de velocidad

23. Representación de multiplicadora de velocidad

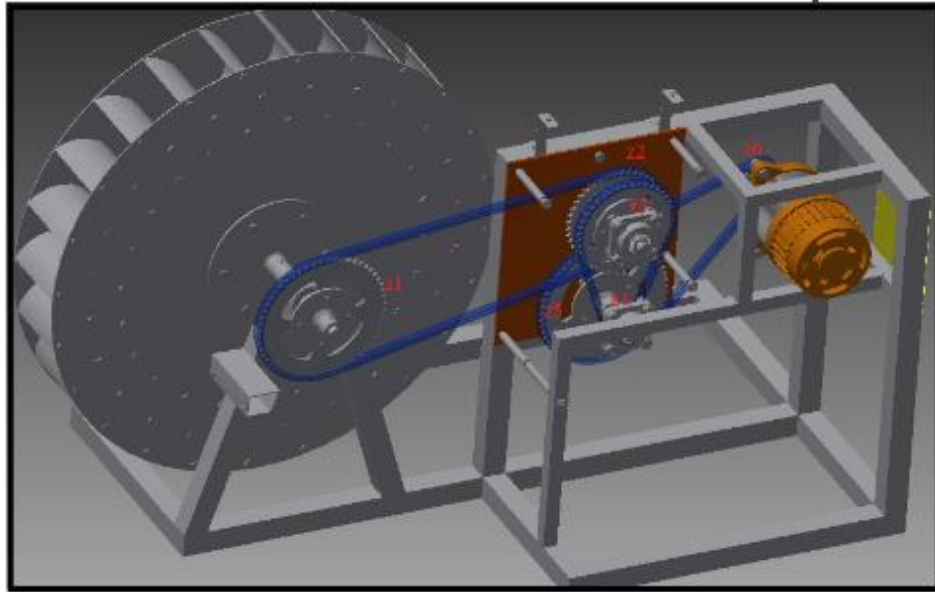


Figura 23. Representacion de multiplicadora de velocidad desarrollada en Autodesk Inventor Pro.

Elaborado por: Cristian Mera

4.2.3.1 Número de revoluciones alternador sincrónico

Según lo expuesto por Chapman (2012) las revoluciones de un generador sincrónico, están vinculadas rígidamente con la frecuencia de la red de trabajo y el número de polos que contenga. Estos cumplen la función de bobinas que se determinan con la siguiente expresión (pág. 378):

$$n_{alternador} = \frac{60 \cdot f_{electrica}}{p} \quad \text{EC. 23}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$n_{alternador} = \frac{60 \cdot 60}{4}$$

$$n_{alternador} = 900 \text{ rpm}$$

Donde:

$f_{electrica}$: Ciclos por segundo que trabaja red eléctrica en Ecuador es 60 [Hz]

p: Numero de polos que tiene el generador en este caso es 4 [*adimensional*]

4.2.3.2 Relación de transmisión

Se determina la relación de multiplicación necesaria para el correcto funcionamiento del equipo con la siguiente ecuación (Larburu, 2004, pág. 310):

$$i_{necesaria} = \frac{n_{alternador}}{n_{rueda}} \quad \text{EC. 24}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$i_{necesaria} = \frac{900}{41,65}$$

$$i_{necesaria} = 21,6$$

Con el valor de la $i_{necesaria}$ se realiza la relación de transmisión de la multiplicadora de velocidad en base a los elementos existentes en el mercado nacional, con lo cual obtenemos:

$$i_{multiplicadora} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \quad \text{EC. 25}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en la ecuación se obtiene:

$$i_{multiplicadora} = \frac{56}{42} \cdot \frac{56}{13} \cdot \frac{56}{14}$$

$$i_{multiplicadora} = 22,97$$

Se observa que $i_{multiplicadora} > i_{necesaria}$ por lo tanto la relación de la multiplicadora es correcta.

Donde:

Z_1, Z_3, Z_5 : Numero de dientes catalina transmisora de movimiento [adimensional]

Z_2, Z_4, Z_6 : Numero de dientes catalina receptora de movimiento [adimensional]

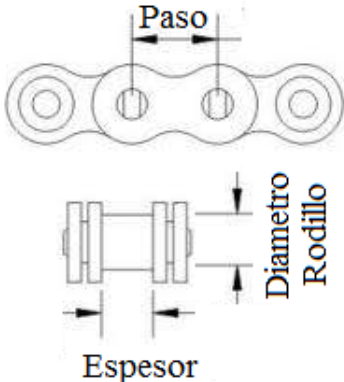
i : Relación de transmisión [adimensional]

4.2.3.3 Selección de catalina y cadena para multiplicadora de velocidad

Por criterio económico se procede a la selección de catalina y cadena con la especificación 428H bajo norma JIS-B 1802 (Japan Industrial Standar), las cuales por ser usadas en motocicletas son de fácil adquisición en el mercado y de muy bajo costo en comparación a fabricación de un tren de engranes.

24. Dimensiones métricas cadena 428

| Cadena | Paso | Espesor | Diametro Rodillo |
|--------|---------|---------|------------------|
| 415 | 12.70mm | 4.88mm | 7.75mm |
| 420 | 12.70mm | 6.35mm | 7.75mm |
| 428 | 12.70mm | 7.75mm | 8.51mm |
| 520 | 15.88mm | 6.35mm | 10.16mm |
| 525 | 15.88mm | 7.85mm | 10.16mm |
| 530 | 15.88mm | 9.53mm | 10.16mm |
| 532 | 15.88mm | 9.53mm | 11.10mm |
| 630 | 19.05mm | 9.53mm | 11.91mm |
| 632 | 19.05mm | 9.66mm | 12.68mm |



El diagrama ilustra la estructura de una cadena 428H. La parte superior muestra una vista lateral de un eslabón con el 'Paso' (pitch) indicado como la distancia entre los centros de los rodillos. La parte inferior muestra una vista frontal de un eslabón con el 'Espesor' (plate thickness) y el 'Diametro Rodillo' (roller diameter) etiquetados.

Figura 24. Valores característicos de cadena 428-H (Heavy Duty).

Elaborado por: Cristian Mera

Los valores obtenidos para la fabricación de la figura 24 fueron recopilados en base a la lectura de varios manuales y artículos que describen dimensiones de cadenas que expresan que pueden soportar una resistencia a la tracción de 4.480lbs.

4.2.3.4 Fuerza de tracción en la cadena

Budynas & Nisbett (2008) define que la fuerza de tracción que ejerce la cadena sobre un eje puede ser determinada mediante la siguiente expresión (págs. 889-894):

$$F_{cad} = \frac{P}{V_{cad}} \quad \text{EC. 26}$$

$$V_{cad} = \frac{d_{Z1} \cdot \pi \cdot n_{rueda}}{60} \quad \text{EC. 27}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en las ecuaciones se obtiene:

$$V_{cad} = \frac{(0,245)(\pi)(41,65)}{60}$$

$$V_{cad} = 0,53 \frac{m}{s}$$

$$F_{cad} = \frac{21,55}{0,53}$$

$$F_{cad} = 40,66 \text{ N} = 9,14 \text{ lbf}$$

Se observa que $F_{cad} < F_{Dcad}$, por lo tanto la cadena 428-H tendrá un ciclo de trabajo de larga duración y con una fiabilidad muy alta.

Donde:

F_{cad} : Fuerza tracción que ejerce la cadena [N]

F_{Dcad} : Fuerza de tracción máxima a la que puede someterse la cadena [N]

d_{z1} : Diámetro de catalina conductora principal acoplada en eje de rueda $z=56$ [m]

4.2.3.5 Longitud cadena

Tabla 11. Dimensiones cadena de rodillos.

Organos de tracción
y de sustentación

CADENAS DE RODILLOS
DIMENSIONES

TABLA 8 · 9

Diagramas de las dimensiones de las cadenas de rodillos:

- Sencilla:** Muestra un rodillo con diámetro d y una cadena con ancho interior C , ancho exterior F , y paso p .
- Doble:** Muestra una cadena doble con ancho interior D , ancho exterior F , y paso p .
- Triple:** Muestra una cadena triple con ancho interior E , ancho exterior F , y paso p .

DIMENSIONES

| Cadena nº | Paso p | Diámet. rodillo d | Ancho interior | | | Ancho malla F | Paso transv. R _t | Grupo de mallas | | Ancho de la cadena | | | Espesores | |
|--------------|-----------|-------------------------|----------------|------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|--------|--------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Sencilla C | Doble D | Triple E | | | H | K | Sencilla L | Doble M | Triple N | Cabeza P | Tuerca R |
| 1 | 8,00 | 5,00 | 3,00 | 8,64 | 14,27 | 8,37 | 5,64 | 2,64 | 8,28 | 8,13 | 13,97 | 19,56 | 1,27 | 3,05 |
| 2 | 9,525 | 6,35 | 3,94 | — | — | 8,51 | — | — | — | 11,18 | — | — | 1,27 | 3,30 |
| 3 | 9,525 | 6,35 | 5,72 | 15,95 | 26,19 | 8,51 | 10,24 | 4,52 | 14,76 | 12,95 | 23,37 | 33,53 | 1,27 | 3,30 |
| (4) | 12,70 | 7,75 | 3,30 | — | — | 10,16 | — | — | — | 10,16 | — | — | 1,40 | 3,81 |
| 5 | 12,70 | 7,75 | 4,88 | — | — | 10,16 | — | — | — | 11,88 | — | — | 1,40 | 3,81 |
| 6 | 12,70 | 8,51 | 5,21 | — | — | 12,07 | — | — | — | 13,97 | — | — | 1,40 | 3,81 |
| 7 | 12,70 | 8,51 | 7,75 | 21,67 | 35,59 | 12,07 | 13,92 | 6,17 | 20,09 | 16,51 | 30,48 | 44,45 | 1,40 | 3,81 |
| (8) | 15,875 | 7,75 | 3,30 | — | — | 10,16 | — | — | — | 10,16 | — | — | 1,40 | 3,81 |
| (9) | 15,875 | 7,75 | 4,88 | — | — | 10,16 | — | — | — | 11,88 | — | — | 1,40 | 3,81 |
| 10 | 15,875 | 10,16 | 6,48 | — | — | 14,73 | — | — | — | 16,00 | — | — | 1,52 | 4,06 |
| 11 | 15,875 | 10,16 | 9,65 | 26,24 | 42,82 | 14,73 | 16,59 | 6,93 | 23,52 | 19,05 | 35,81 | 52,32 | 1,52 | 4,06 |
| 12 | 19,05 | 12,07 | 7,87 | — | — | 16,38 | — | — | — | 18,29 | — | — | 1,65 | 4,57 |
| 13 | 19,05 | 12,07 | 11,68 | 31,14 | 50,60 | 16,38 | 19,46 | 7,77 | 27,23 | 22,10 | 41,66 | 61,21 | 1,65 | 4,57 |
| 14 | 25,40 | 15,88 | 12,70 | — | — | 20,83 | — | — | — | 31,75 | — | — | 2,03 | 5,33 |
| 15 | 25,40 | 15,88 | 17,02 | 48,90 | 80,77 | 20,83 | 31,88 | 14,86 | 46,74 | 36,07 | 68,07 | 99,82 | 2,03 | 5,33 |
| (16) | 31,75 | 19,05 | 14,22 | — | — | 25,40 | — | — | — | 37,85 | — | — | — | 6,10 |
| 17 | 31,75 | 19,05 | 19,56 | 56,01 | 92,46 | 25,40 | 36,45 | 16,89 | 53,34 | 43,18 | 79,76 | 116,08 | — | 6,10 |
| 18 | 38,10 | 25,40 | 25,40 | 73,76 | 122,12 | 33,53 | 48,36 | 22,96 | 71,32 | 53,34 | 101,85 | 150,11 | — | 6,60 |
| (19) | 44,45 | 27,94 | 22,23 | — | — | 33,53 | — | — | — | 56,13 | — | — | — | 7,37 |
| 20 | 44,45 | 27,94 | 30,99 | 90,55 | 150,11 | 33,53 | 59,56 | 28,58 | 88,14 | 64,77 | 124,46 | 183,90 | — | 7,37 |
| (21) | 50,80 | 29,21 | 22,23 | — | — | 40,13 | — | — | — | 58,67 | — | — | — | 7,87 |
| 22 | 50,80 | 29,21 | 30,99 | 89,54 | 148,08 | 40,13 | 58,55 | 27,56 | 86,11 | 67,31 | 125,98 | 184,40 | — | 7,87 |
| 23 | 63,50 | 39,37 | 38,10 | 110,39 | 182,68 | 52,83 | 72,29 | 34,19 | 106,48 | 82,55 | 154,94 | 227,33 | — | 9,14 |
| 24 | 76,20 | 48,26 | 45,72 | 136,93 | 288,14 | 64,26 | 91,21 | 45,49 | 136,70 | 99,06 | 190,50 | 281,69 | — | 10,41 |
| 25 | 88,90 | 53,98 | 53,34 | 158,94 | — | 78,23 | 106,60 | 53,26 | — | 114,30 | 220,98 | — | — | 11,68 |
| 26 | 101,60 | 63,50 | 60,96 | 180,85 | — | 92,20 | 119,89 | 58,93 | — | 130,81 | 250,70 | — | — | 12,95 |
| 27 | 114,30 | 72,39 | 68,58 | 204,85 | — | 104,39 | 136,27 | 67,69 | — | 147,32 | 283,72 | — | — | 14,22 |
| 28 | 127,00 | 79,38 | 76,20 | 226,70 | — | 116,33 | 150,50 | 74,30 | — | 162,56 | 313,18 | — | — | 15,49 |
| 29 | 152,40 | 95,25 | 91,44 | 271,53 | — | 139,19 | 180,09 | 88,65 | — | 194,31 | 374,40 | — | — | 18,03 |
| 30 | 177,80 | 111,13 | 106,68 | 316,23 | — | 162,05 | 209,55 | 102,87 | — | 226,06 | 435,61 | — | — | 20,57 |
| 31 | 203,20 | 127,00 | 121,92 | 361,95 | — | 184,91 | 240,03 | 118,11 | — | 257,81 | 497,84 | — | — | 23,11 |

CARGAS DE ROTURA EN KG

| Nº | Sencilla | Doble | Triple | Nº | Sencilla | Doble | Triple | Nº | Sencilla | Doble | Triple | Nº | Sencilla | Doble | Triple |
|-----|----------|-------|--------|------|----------|-------|--------|------|----------|-------|--------|----|----------|--------|--------|
| 1 | 363 | 680 | 998 | (9) | 816 | — | — | 17 | 5670 | 11113 | 16556 | 25 | 52163 | 102058 | — |
| 2 | 862 | — | — | 10 | 2177 | — | — | 18 | 9979 | 18597 | 27215 | 26 | 68039 | 129273 | — |
| 3 | 862 | 1678 | 2495 | 11 | 2177 | 4173 | 6123 | (19) | 12701 | — | — | 27 | 86182 | 163292 | — |
| (4) | 816 | — | — | 12 | 2812 | — | — | 20 | 12701 | 24494 | 36287 | 28 | 108862 | 204116 | — |
| 5 | 816 | — | — | 13 | 2812 | 5488 | 8165 | (21) | 15422 | — | — | 29 | 154221 | 294834 | — |
| 6 | 1588 | — | — | 14 | 4309 | — | — | 22 | 15422 | 29483 | 43545 | 30 | 210919 | 401427 | — |
| 7 | 1588 | 2948 | 4309 | 15 | 4309 | 8165 | 12020 | 23 | 26762 | 51029 | 75296 | 31 | 272154 | 521629 | — |
| (8) | 816 | — | — | (16) | 5670 | — | — | 24 | 39009 | 73935 | 108862 | — | — | — | — |

Concuerda con la Norma UNE 18002

Nota: Los valores de este diseño corresponden a la cadena 6, basado en el paso y diámetro de rodillo expresado en la figura 24 para la cadena de rodillo 428 H.

Fuente: Larburu, (pág. 311, 2004)

Según lo expuesto por Larburu (2004) la longitud de cadena representada por el número de eslabones en la cadena y la distancia entre centros se determina con las siguientes expresiones, considerando el resultado de distancia entre ejes como la separación máxima que puede existir entre dos ejes (pág. 310):

$$N_e = \frac{2.c}{P_{paso}} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{P_{paso} \cdot (z_1 + z_2)}{40.c} \quad \text{EC. 28}$$

$$C_{cd} = \frac{P_{paso}}{8} \cdot (A_1 \cdot \sqrt{(A_1 + 0,9 \cdot -B_1) \cdot (A_1 - 0,9 \cdot B_1)}) \quad \text{EC. 29}$$

$$A_1 = 2 \cdot N_e - (z_1 + z_2) \quad \text{EC. 30}$$

$$B_1 = z_2 - z_1 \quad \text{EC. 31}$$

Al reemplazar los correspondientes valores en las ecuaciones se obtiene el valor de los tres conjuntos de catalina-piñón que forman la caja multiplicadora:

Relación 1 (catalina rueda z56- piñón caja z42)

$$N_e = \frac{2(5,21)}{12,7} + \frac{56+42}{2} + \frac{12,7(56+42)}{40(5,21)}$$

$$N_e = 56$$

$$A_1 = 2(56) - (56 + 42) = 14$$

$$B_1 = 42 - 56 = -14$$

$$C_{cd} = \frac{12,7}{8} \cdot (14 \cdot \sqrt{(14 + 0,9(14)) \cdot (14 - 0,9(-14))})$$

$$C_{cd} = 416 \text{ mm}$$

Relación 2 (catalina z56- piñón z13)

$$N_e = \frac{2(5,21)}{12,7} + \frac{56+13}{2} + \frac{12,7(56+13)}{40(5,21)}$$

$$N_e = 40$$

$$A_1 = 2(40) - (56 + 13) = 11$$

$$B_1 = 56 - 13 = -43$$

$$C_{cd} = \frac{12,7}{8} \cdot (11 \cdot \sqrt{(11 + 0,9(43)) \cdot (11 - 0,9(-43))})$$

$$C_{cd} = 768 \text{ mm}$$

Relación 3 (catalina z56- piñón z14)

$$N_e = \frac{2(5,21)}{12,7} + \frac{56+13}{2} + \frac{12,7(56+13)}{40(5,21)}$$

$$N_e = 41$$

$$A_1 = 2(40) - (56 + 14) = 10$$

$$B_1 = 14 - 56 = -42$$

$$C_{cd} = \frac{12,7}{8} \cdot (10 \cdot \sqrt{(10 + 0,9(-42)) \cdot (10 - 0,9(-42))})$$

$$C_{cd} = 677 \text{ mm}$$

Donde:

N_e : Numero de eslabones de la cadena [adimensional]

C_{cd} : Distancia entre centros [mm]

P_{paso} : Paso de la cadena [mm]

c : Ancho interior cadena [mm]

4.3 Resumen de partes de hidrogenerador y materiales seleccionados

Tabla 12. Partes de hidrogenerador y materiales seleccionados.

| Elemento | Tipo | Material |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Alabes | Lamina espesor 3mm | A1200 H13 |
| Laminas laterales rueda | Lamina espesor 3mm | A1200 H13 |
| Manzana de rueda | Barra Redonda | A1200 H13 |
| Eje rueda | Barra Redonda | AISI 304 |
| Chumacera | UCP204CC Piso | Fundición Gris/chapa de acero |
| Chumacera | UCP204CC Pared | Fundición Gris/chapa de acero |
| Catalina z=56 | 428-H | |
| Catalina z= 42 | 428-H | |
| Piñón z= 13 | 428-H | |
| Piñón z=14 | 428-H | |
| Cadena | 428-H | |

Fuente: Cristian Mera

El manual de operación, mantenimiento del hidrogenerador y los planos constructivos, están expuestos en los anexos 5, y 7, respectivamente.

25. Rueda hidráulica – Hidrogenerador

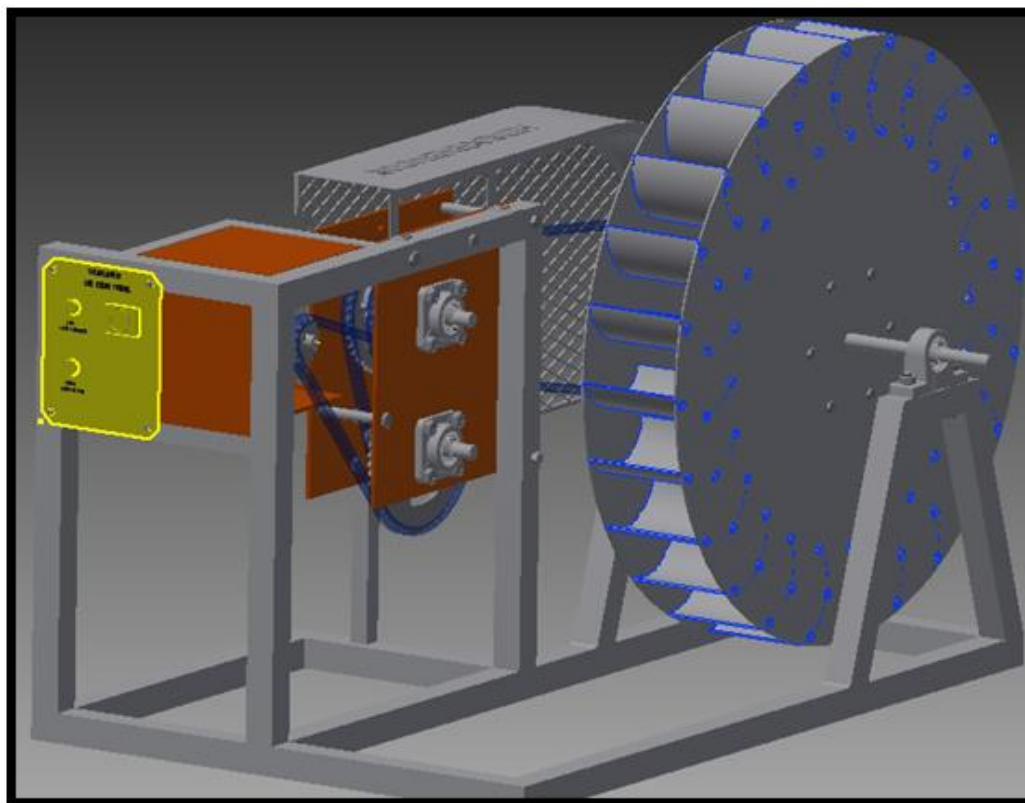


Figura 25. Hidrogenerador.

Elaborado por: Cristian Mera

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

Los recursos económicos que se emplean para el funcionamiento de este proyecto tanto para el diseño, construcción y montaje de las partes que componen el hidrogenerador se detallan en el desarrollo de este capítulo.

5.1 Análisis económico

5.1.1 Costos directos

5.1.1.1 Costos de materia prima limpieza de zanja.

| ITEM | COSTOS MATERIA PRIMA | | | |
|------|--|----------|-----------------|--------------|
| | DETALLE | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | Cuchilla guadaña | 1 | 3,00 | 3,00 |
| 2 | Aceite Maruyama Profesional para motores 2 tiempo 50:1 | 1 | 7,50 | 7,50 |
| 3 | Galones gasolina extra | 2 | 1,48 | 2,96 |
| 5 | Machete | 3 | 3,75 | 11,25 |
| | | | Subtotal | 24,71 |

5.1.1.2 Costos de materia prima obra civil.

| COSTOS MATERIA PRIMA | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------|-------------------|-----------------|---------------|
| ITEM | DETALLE | CANT. | DATOS TECNICOS | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | lastre volqueta | 1 | 12 m ³ | 60,00 | 60,00 |
| 2 | Madera encofrado | 16 | 3x0,25x0,025 m | 2,50 | 40,00 |
| 3 | Viga Madera | 1 | 0,040x0,040 m | 5,00 | 5,00 |
| 4 | Alambre negro | 1 | Rollo | 4,00 | 4,00 |
| 5 | Libra clavos | 1 | Ø 2Plg | 2,70 | 2,70 |
| 6 | Cemento | 15 | Quintales | 8,35 | 125,25 |
| 7 | Malla Electrosoldada | 1 | 2,50x1,50 m | 50,00 | 50,00 |
| 8 | Sika acelerante secado hormigón | 4 | litro | 2,95 | 11,80 |
| 9 | Plástico negro | 1 | 4x0,43 m | 5,00 | 5,00 |
| 10 | Piola | 1 | Rollo | 2,00 | 2,00 |
| | | | | SUBTOTAL | 305,75 |

5.1.1.3 Costos de materia prima tubería descarga

| COSTOS MATERIA PRIMA | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-------|----------------|-----------------|---------------|
| ITEM | DETALLE | CANT. | DATOS TECNICOS | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | Tubería desagüe | 3 | Ø 160mm | 12,22 | 36,66 |
| 2 | Tubería desagüe | 4 | Ø 110mm | 4,87 | 19,48 |
| 3 | Tubería PVC roscable | 1 | Ø 4 Plg | 29,00 | 29,00 |
| 4 | Tubería PVC roscable | 1 | Ø 2Plg | 18,00 | 18,00 |
| 5 | Unión PVC Desagüe | 2 | Ø 160mm | 3,60 | 7,20 |
| 6 | Pega tubo PVC | 1 | 1/2 Litro | 2,48 | 2,48 |
| 7 | Fosforera | 1 | | 0,75 | 0,75 |
| 8 | Codo PVC | 4 | Ø 110x90mm | 2,25 | 9,00 |
| 9 | Reducción Hierro Galvanizado | 1 | Ø 4-2 Plg | 8,00 | 8,00 |
| 10 | Teflón | 1 | | 0,25 | 0,25 |
| 11 | Válvula de bola PVC | 1 | Ø 2 Plg | 6,62 | 6,62 |
| 12 | Tee PVC Desagüe | 1 | Ø 110mm | 2,32 | 2,32 |
| 13 | Codo PVC | 1 | Ø 110x45 mm | 2,25 | 2,25 |
| | | | | SUBTOTAL | 142,01 |

5.1.1.4 Costos de materia prima Construcción Rueda Hidráulica

| COSTOS MATERIA PRIMA | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-------|--------------------|-----------------|---------------|
| ITEM | DETALLE | CANT. | DATOS TECNICOS | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | Plancha de Aluminio Liso A1200 H4 | 1 | e =3mm | 111,00 | 111,00 |
| 2 | Plancha expandida | 1 | e= 2mm | 43,28 | 43,28 |
| 3 | Tubo cuadrado | 1 | 25x25x2 mm | 16,98 | 16,98 |
| 4 | Aluminio macizo para manzana | 8 | Libras | 2,72 | 21,76 |
| 5 | Acero Inox 400 perfil U | 2 | 25x20x1 mm | 4,25 | 8,50 |
| 6 | Catalina | 3 | Z = 56 | 10,00 | 30,00 |
| 7 | Catalina | 2 | Z = 13 | 2,00 | 4,00 |
| 8 | Catalina | 1 | Z = 15 | 3,00 | 3,00 |
| 9 | Cadena | 2 | 428H - 132L | 10,00 | 20,00 |
| 10 | Barra redonda perforada | 1 | Ext 50 Int 12 x300 | 14,36 | 14,36 |
| 11 | Chumaceras de piso | 2 | NBR UCP204 | 9,50 | 19,00 |
| 12 | Chumaceras de pared | 4 | NBR UCP204 | 10,00 | 40,00 |
| 13 | Discos de corte | 6 | | 2,25 | 13,50 |
| 14 | Tubo galvanizado | 2 | Ø 40 x 40 mm | 22,60 | 45,20 |
| | | | | SUBTOTAL | 390,58 |

5.1.1.5 Costos de materia prima instalación eléctrica

5.1.1.6 Costos de mano de obra

| COSTOS MATERIA PRIMA | | | | |
|----------------------|--------------------------------|-------|-----------------|---------------|
| ITEM | DETALLE | CANT. | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | Foco Piloto | 1 | 2,50 | 2,50 |
| 2 | Metros cable #16 | 2 | 1,50 | 3,00 |
| 3 | Terminales cable | 2 | 5,00 | 10,00 |
| 4 | Metro y medio cable de batería | 1,5 | 14,67 | 22,00 |
| 5 | Terminales | 2 | 0,25 | 0,50 |
| 6 | Voltímetro | 1 | 25,00 | 25,00 |
| 7 | Bornes | 2 | 2,00 | 4,00 |
| 8 | Cinta aislante | 1 | 0,50 | 0,50 |
| 9 | Terminal | 1 | 0,50 | 0,50 |
| 10 | Terminales | 5 | 0,20 | 1,00 |
| 11 | Tuerca M8X15 | 1 | 0,15 | 0,15 |
| 12 | Interruptor | 1 | 8 | 8,00 |
| 13 | Correas tiras | 6 | 0,10 | 0,60 |
| 14 | Medio metro de manguera | 0,5 | 3,00 | 1,50 |
| 15 | Inversor 12V - 1000V | 1 | 75,00 | 75,00 |
| 16 | Batería Ecuador 12V 165 Ah | 1 | 370,00 | 370,00 |
| 17 | Alternador 70A marca Bosch | 1 | 85,00 | 85,00 |
| | | | SUBTOTAL | 609,25 |

| DESCRIPCIÓN | VALOR TOTAL USD |
|-----------------------|-----------------|
| Limpieza | 170,00 |
| Obra civil | 700,00 |
| Construcción mecánica | 1250,00 |
| Instalación eléctrica | 15 |
| SUBTOTAL | 2135,00 |

5.1.2 Costos indirectos.

| DESCRIPCIÓN | VALOR TOTAL USD |
|--|-----------------|
| Movilización | 400,00 |
| Copias, impresiones y suministros de oficina | 110,00 |
| Refrigerios | 45,00 |
| SUBTOTAL | 555,00 |

5.1.3 Resumen de costos

| ITEM | DETALLE | VALOR UNITARIO |
|------|--|----------------|
| 1 | Costos materia prima limpieza de zanja. | 24,71 |
| 2 | Costos materia prima obra civil | 305,75 |
| 3 | Costos materia prima Rueda hidráulica | 142,01 |
| 4 | Costos materia prima construcción Rueda hidráulica | 390,58 |
| 5 | Costos materia prima instalación eléctrica | 609,25 |
| 6 | Costos mano de obra | 2135,00 |
| 7 | Costos indirectos | 555,00 |
| | SUBTOTAL | 3651,14 |
| | I.V.A. 14% | 511,16 |
| | TOTAL | 4162,3 |

5.2 Análisis Costo-Beneficio

El valor total para Generación de energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una vivienda del Cantón Lago Agrio es de USD 4162,30.

Un motor generador con una potencia de 950 watts para su correcto funcionamiento para autonomía de 4 horas diarias necesita lo siguiente:

- Diariamente consume un galón de combustible con precio USD 1,48 lo que representa mensualmente USD 44,4 por consiguiente al año se gasta en combustible USD 532,80.
- Por cada 10 galones de gasolina se consume 1 litro de aceite de ligar valorado en USD 7,50 es decir mensual se consumen 3 litros de aceite y anual 36 litros con un valor de USD 270,00.
- En el transporte del combustible por carrera se paga USD 6,00 la cual se realiza una vez por semana por lo que mensual en transporte se paga USD 24,00 es decir anual se paga USD 288,00 de transporte.
- Permiso para compra en recipiente en la ARCH valorado en USD 25,00.
- Revisión anual de mantenimiento en taller autorizado USD 70

El usar un motor generador considera un costo anual de USD 1185,80 que al comparar con la inversión para reemplazar con el hidrogenador, este costo anual se convertirá en entrada en efectivo y el mantenimiento anual del generador que considera un costo de USD 350,00 se convertirá en salida de efectivo para el posterior cálculo del VAN (valor actual neto) con lo cual se determinará la viabilidad del proyecto si se obtiene un valor positivo, se toma la tasa de interés actual bancaria para negocios del 16%.

26. Calculo de VAN

| flujo efectivo neto = | | entrada efectivo - | salida efectivo |
|-----------------------|--|--------------------|-----------------|
| entrada efectivo | | 1185,8 | |
| salida efectivo | | 350 | |

| años | flujo efectivo neto |
|------|---------------------|
| 0 | 835,8 |
| 1 | 835,8 |
| 2 | 835,8 |
| 3 | 835,8 |
| 4 | 835,8 |
| 5 | 835,8 |
| 6 | 835,8 |
| 7 | 835,8 |
| 8 | 835,8 |
| 9 | 835,8 |
| 10 | 835,8 |

| | |
|--------------------|----------------|
| Inversion inicial | 4163,3 |
| tasa interes % | 16 |
| vida util proyecto | 10 |
| VAN | \$40,64 |

Figura 26. Representacion VAN (valor actual neto).

Elaborado por: Cristian Mera

Como podemos observar el $VAN > 0$ permite confirmar la viabilidad del proyecto.

Conclusiones

- El régimen de funcionamiento del alternador en el presente proyecto es de 900 rpm; estas rpm se obtuvo con ruedas multiplicadoras.
- La velocidad de la rueda es de 44 rpm, depende del caudal de salida.
- La velocidad del fluido depende mucho de la pendiente del terreno.
- Entre mayor sea el número de polos en un alternador, la fuerza de carga o frenado que produce en la rueda, al generar corriente, será menor.
- El número de polos del alternador tiene relación directa sobre la velocidad (rpm) que el alternador necesita para producir campo magnético y lograr obtener un buen voltaje de carga.
- La suavidad con la que gire las catalinas de la multiplicadora depende de la longitud de la cadena, de la posición de ejes y de la relación de transmisión.
- Una relación de multiplicación grande con una fuerza de tracción pequeña requiere del acople de varias relaciones pequeñas dentro de un mismo conjunto.
- El hidrogenerador se fabricó para brindar un fácil transporte y operación.
- La rueda se fabricó con aluminio A1200 H13, material usado para usos navales lo que determina una sólida construcción y larga duración.
- Los materiales usados en la construcción de hidrogenerador son de alto grado de calidad. Lo que asegura un largo periodo de operación en las condiciones de trabajo al que será exigido.
- Se cumplen el objetivo de generación de 1000 watts, para iluminación de vivienda en el cantón Lago Agrio.

Recomendaciones

- Con el presente proyecto para incrementar la potencia de generación eléctrica se debe aumentar la capacidad de la represa.
- Mantener una limpieza del tanque desarenador.
- Para evitar inundaciones en la represa, elevar el tubo de desfogue de agua.
- La velocidad del fluido depende mucho de la pendiente del terreno.
- Nunca poner en funcionamiento el hidrogenador sin el cobertor de seguridad de caja multiplicadora. Esto puede lastimar o provocar daños físicos a personas o animales que entren en contacto de manera inconsciente o por curiosidad con el equipo.
- No caminar sobre las tuberías de desagüe y de alimentación del hidrogenador en obra civil, para evitar prematuro deterioro.
- Para operar el equipo, seguir el manual de operación.

Referencias

- Alternative Energy. (10 de 09 de 2013). *alternative-energy-tutorial*. Recuperado el 30 de 05 de 2016, de alternative-energy-tutorial: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html>
- Álvarez Cardona, A. (1985). La rueda hidráulica. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, XXXVIII*, 26. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/29692/>
- Aubrey, B. (1965). *A History of Mechanical Engineering* (Vol. FIRST). Cumberland, Rhode Island, USA: The MIT.
- BAGES ACERS S.L.U. (08 de 10 de 2016). *BAGES ACERS S.L.U.* Obtenido de <http://www.bagesacers.com/publico/informacion.aspx>
- BOHLER. (2007). *Manual de aceros especiales*. Quito: Bohler Ecuador. Obtenido de www.bohlerecuador.com
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). México DF: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Bustamante, W. (2011). *Apuntes para un manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas: Turbinas*. Quito: Olade.
- CEPES. (07 de 02 de 2011). *Centro Peruano de Estudios Sociales*. Recuperado el 30 de 05 de 2016, de Centro Peruano de Estudios Sociales: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas* (octava ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Córdova, R. A. (2006). *Diseño y construcción de un sistema rueda hidráulica-bomba* (Vol. 1). Quito: EPN.
- DIPAC. (21 de 05 de 2016). *DIPACMANTA*. Recuperado el 2016 de 08 de 22, de DIPACMANTA: <http://www.dipacmanta.com/plancha-aluminio-lisa-astm-a1200>
- ESAB. (01 de 01 de 2016). *ESAB*. Obtenido de http://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_mig_mag.cfm
- For teachers for students. (22 de Octubre de 2014). *For teachers for students Australian Education Resources*. (f. t. students, Ed.) Recuperado el 12 de Junio de 2016, de for teachers for students Australian Education Resources: <http://www.forteachersforstudents.com.au/site/themed-curriculum/water-wheels/facts/>
- FYH. (19 de Agosto de 2015). *FYH*. Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de FYH: http://www.fyhbearings.com/html/catalog/FYH_Spanish_USA.pdf
- Galbarro, H. R. (21 de 05 de 2015). *Ingemecanica*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>

- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera ed.). Mexico D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Hall, A. S., Holowenco, A. R., & Laughlin, H. G. (1971). *Diseño de máquinas*. México: McGraw-Hill.
- Heredia, L. (2009). *CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UNA RUEDA HIDRÁULICA*. Lima: PUCP.
- Heredia, L. F. (2009). *CONSTRUCCION Y ENSAYO DE UNA RUEDA HIDRÁULICA DE CORRIENTE LIBRE DE 2M DE DIAMETRO*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- IEC. (4 de OCTUBRE de 2008). *Comisión Electrotécnica Internacional*. Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de Comisión Electrotécnica Internacional:
http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/renewable_energies-s.pdf
- Inmaculada Fernandez, D., & Robles Diaz, A. R. (2012). *Centrales de Generación de Energía Eléctrica* (Primera ed.). Cantabria, Santander, España: Universidad de Cantabria.
- ITDG. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas* (PRIMERA ed.). Lima: ITDG. Recuperado el 31 de 05 de 2016
- Kids&Energy. (14 de 04 de 2005). *Kids&Energy*. Recuperado el 06 de 06 de 2016, de Kids&Energy: <http://www.kids.esdb.bg/hydro.html>
- Larburu, N. (2004). *MAQUINAS PRONTUARIO TECNICAS MAQUINAS HERRAMIENTAS* (Vol. TERCERO). Madrid: PARANINFO. S.A.
- Low-tech megazine. (02 de 09 de 2013). *Low tech megazine*. Recuperado el 27 de 05 de 2016, de Low tech megazine:
<http://www.es.lowtechmagazine.com/2013/09/vuelta-a-lo-basico-hidroenergia-directa.html>
- Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y Maquinas hidraulicas* (Segunda ed.). Madrid: Del Castillo S.A.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (Cuarta ed.). Naucalpan de Juárez: PEARSON Educación.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta ed.). Naucalpán de Juárez: PEARSON Educación.
- Müller, G. (2003). *WATER WHEELS AS A POWER SOURCE*. Queen's: University of Belfast. Obtenido de
http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0708/beiere/3/html/bi/3/fichiers/Muller_histo.pdf
- Noria corporation. (17 de Enero de 2008). *Machinery Lubrication*. Recuperado el 27 de 05 de 2016, de Machinery Lubrication:
<http://www.machinerylubrication.com/Read/29218/changing-lubricant-brands>
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas* (Cuarta ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.

- NTN. (4 de Octubre de 2015). *NTN*. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de NTN:
http://www.ntnmexico.com/catalogo/catalogos/cat4_2202-VII-S_CAT_Rodam_Bolas_y_Rodillos-esp.pdf
- Sanchez Dominguez, U. (2012). *Máquinas Hidráulicas* (Primera ed.). Alicante: Club Universitario.
- Shigley, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de shigley* (octava ed.). Mexico DF, Mexico: McGraw-Hill.
- Vallejo, J. M. (1833). *TRATADO SOBRE EL MOVIMIENTO Y APLICACIONES DE LAS AGUAS* (TERCERA ed.). Madrid: IMPRENTA DE D. MIGUEL DE BURGOS.

Anexos

Anexo 1. Fotos limpieza de maleza.



Elaborado por: Cristian Mera

Anexo 2. Fotos construcción muro y desarenador.

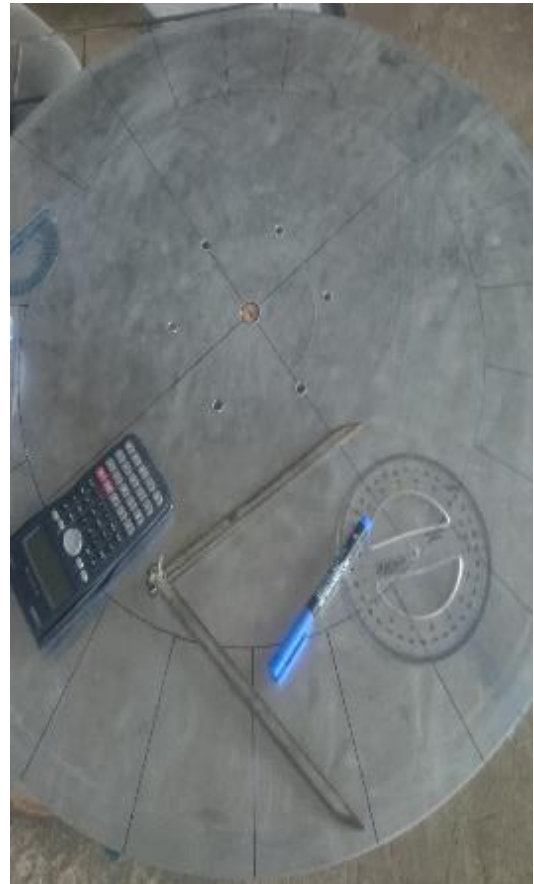


Elaborado por: Cristian Mera



Elaborado por: Cristian Mera

Anexo 3 Fotos construcción rueda hidráulica.



Elaborado por: Cristian Mera



Elaborado por: Cristian Mera

Anexo 4. Hidrogenerador en lugar de trabajo.



Elaborado por: Cristian Mera

Anexo 5. Manual de operación y mantenimiento de hidrogenerador.

El presente manual de operación y mantenimiento debe ser leído por el operador previo al funcionamiento del hidrogenerador.

Manual de operación

Previamente a la utilización de hidrogenerador, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de operación:

- a) El piso donde va a funcionar la máquina debe ser nivelado y estable.
- b) El alternador debe ser energizado con una batería de 12 voltios y de una capacidad mayor a 90 mAh para poder mantener el suministro constante de energía.
- c) El Inversor debe estar libre de humedad y no ser sometido a un consumo de potencia mayor a los 1000 watts.
- d) El operador debe revisar que todas las partes de la máquina estén bien ajustadas antes del arranque de la misma, que se encuentren bien conectados los bornes de la batería a los cables que energizan al generador debido a que estos elementos se va a desmontar frecuentemente.
- e) Nunca se deberá introducir las manos o algún elemento a la rueda cuando la máquina esté operando, se podría ocasionar un accidente o el daño del equipo.
- f) El flujo de agua debe estar libre de impurezas como palos, piedras, ramas y hojas; por lo cual, es necesario realizar una limpieza rutinaria de la represa y desarenador.

Manual de mantenimiento

Para evitar el deterioro prematuro del hidrogenerador, es necesario la revisión periódica de la máquina, con lo cual se puede tener un detalle claro en el desgaste de los elementos que la constituyen y con ello aplicar un mantenimiento preventivo o correctivo según se requiera.

El mantenimiento del equipo es detallado a continuación:

Lubricación de elementos

Se recomienda realizar una lubricación mensual con grasa SKF NLGI 2 tanto de las chumaceras como de la cadena para prolongar su vida útil y en tiempo de inviernos realizar una inspección semanal de la lubricación de estos elementos en caso de requerirlos realizar la respectiva lubricación.

Ajuste y cambio de cadena

Realizar inspección en búsqueda de deformaciones o desgaste en rodillos de cadena y verificar la tensión de la misma para evitar pérdidas de transmisión de potencia en la multiplicadora de velocidad.

Revisión estado de batería

Mantener los bornes de la batería libre de sulfatación y revisar mensualmente los niveles de ácido, en caso de tener sulfato los bornes limpiar con un cepillo y lubricar con grasa, revisar niveles de agua celulada en caso de faltar completar y proceder a dejar bien sellada las tapas con el fin de prolongar la vida útil de la batería.

CHECK LIST (MANTENIMIENTO)

| HOJA DE MANTENIMIENTO | | | | | | |
|-----------------------|----------|---------|---------|-----------|-------|---------------|
| Elemento | Acción | Semanal | Mensual | Semestral | Anual | Observación |
| Cadena | Revisar | | x | | | Invierno |
| | Engrasar | | x | | | engrasar |
| | Cambiar | | | | x | semanal |
| Chumacera | Revisar | | x | | | Visual |
| | Engrasar | | x | | | Engrasador |
| | Cambiar | | | | x | Deterioro |
| Batería | Revisar | | x | | | Nivel líquido |
| | Cambiar | | | | x | Carga < 12v |
| Catalina | Revisar | | | x | | Invierno |
| | Engrasar | | x | | | engrasar |
| | Cambiar | | | | x | semanal |

Anexo 6. Nomenclatura.

Q : Caudal

V : Volumen del recipiente

t : Tiempo en llenar el recipiente

v : Velocidad

g : Gravedad de la tierra

h : Altura

\tilde{v} : Velocidad media

K_f : Coeficiente de pérdida a la entrada de la tubería

v : Velocidad

C_1 : Velocidad del chorro

K_{c1} : Coeficiente de velocidad

d : Diámetro del chorro

D_r : Diametro rueda hidráulica

z : Número de álabes

A : Profundidad del álabe

B : Altura del álabe

C : Ancho del álabe

u : Velocidad tangencial rueda

K_u : Coeficiente de velocidad tangencial rueda

β : Ángulo inclinación de alabe

ρ : Peso específico del agua

θ : Ángulo salida del chorro en este proyecto

w : Velocidad angular de la rueda

f : Frecuencia angular de la rueda

θ : Angulo salida del chorro en este proyecto

S_{ut} : Resistencia a la tensión ultima

S_y : Resistencia a la fluencia

S_e : Resistencia a la tensión

P_{Lrueda} : Peso lamina rueda

P_{Mrueda} : Peso manzana rueda

P_{Alabe} : Peso álabe rueda

P_{Rueda} = Peso rueda hidráulica

d_{cad} : Distancia desde diámetro exterior de catalina al eje de la rueda

d_{rueda} : Distancia desde diámetro exterior de rueda al eje de la rueda

M_2 : Momento provocado por el choque del agua en el alabe

M_1 : Momento provocado por fuerza que ejerce la cadena en el eje de la rueda

f_s : Factor de seguridad

M: Momento flector

π : Valor pi

d_{eje} : Diámetro eje de la rueda

L_{10} : Duración vida nominal

L_{10h} : Vida útil

C_r : Capacidad carga dinámica

P_r : Carga dinámica equivalente

$f_{electrica}$: Ciclos por segundo que trabaja red eléctrica

p : Número de polos que tiene el generador

$n_{alternador}$: Velocidad en rpm alternador

Z_1, Z_3, Z_5 : Número de dientes catalina transmisora de movimiento

Z_2, Z_4, Z_6 : Número de dientes catalina receptora de movimiento

$i_{necesaria}$: Relación de transmisión para que alternador genere corriente.

$i_{Multiplicadora}$: Relación de transmisión en caja multiplicadora diseñada

F_{cad} : Fuerza tracción que ejerce la cadena

F_{Dcad} : Fuerza de tracción máxima a la que puede someterse la cadena

d_{z1} : Diámetro de catalina conductora principal acoplada en eje de rueda

N_e : Número de eslabones de la cadena

C_{cd} : Distancia entre centros

P_{paso} : Paso de la cadena

c : Ancho interior cadena

Anexo 7. Planos constructivos